



## Yeraltı Suyu Kirliliği Açısından Atık Su Kullanımı

Üstün ŞAHİN<sup>1</sup>

Talip TUNÇ<sup>1\*</sup>

Selda ÖRS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, ERZURUM

\*Sorumlu Yazar  
talip@atauni.edu.tr

**Özet:** Günümüzde giderek azalan su kaynakları sulama suyu olarak içme suyu niteliğindeki suların kullanılması yerine artırılmış atık suların yeniden kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak atık suların yeniden kullanımında yeraltı sularında nitrat ve ağır metal birikimlerinin dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Bu durum yeraltı suyu düzeyinin toprak yüzeyine yakın olduğu yerlerde çok daha fazla önem arz etmektedir. Bu nedenle derine sızmayı azaltma açısından randımanı yüksek sulama yöntemlerinin kullanılması önemlidir. Bu çalışmada da yeraltı suyu kirliliği açısından atık suyun yeniden kullanımı ve etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı suyu kirliliği, Atık su, Sulama

## Reuse Wastewater in Term of Groundwater Pollution

**Abstract:** Nowadays, reusing of purified wastewater for irrigation instead of fresh water has become compulsory on account of diminishing water resources. However, during re-use of wastewater, nitrate and heavy metal accumulation in ground water must be monitored carefully. This situation is much more important where the groundwater level near the soil surface. Therefore using irrigation methods with high water use efficiency is importance to avoid wastewater penetration into groundwater. In this study, reuse of wastewater (for irrigation) and its effect in term of groundwater pollution were investigated.

**Key words:** Groundwater pollution, Wastewater, Irrigation

## GİRİŞ

Suyun bugün ve gelecekte bulunabilirliği herkesin ilgilenmesi gereken bir konudur. Su kaynaklarının gelecek için yönetimi, suyun daha verimli kullanımı ve su kalitesinin korunması yönündeki bugünkü çabalara duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Çevredeki kirlenmeler güvenli içme suyu sağlamak ve sağlığı korumak için gerekli olan kaynakların kullanılamaz duruma gelmesine yol açmaktadır. Ülkemiz büyüme süreci içerisinde olup, hızlı nüfus artışının, endüstriyel, kentsel ve tarımsal faaliyetlerin yol açtığı çevre sorunları ve tahribatı sınırlı su kaynaklarının kirlenmesine ve erişilebilir suyun stratejik ve ekonomik bir meta haline gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, mevcut su kaynaklarının korunması ve atık suların geri kullanımı çok önem arz etmektedir [1].

Ülkemiz’de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup>’ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m<sup>3</sup> lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m<sup>3</sup> lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m<sup>3</sup> lük suyun 28

milyar m<sup>3</sup> ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m<sup>3</sup> ve ülke dışından gelen 7 milyar m<sup>3</sup>’de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 98 milyar m<sup>3</sup>’tür. 14 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır [2].

Yeryüzüne düşen suların belirli miktarı zemin içerisine süzülerek yeraltı su kaynağını meydana getirir. Pratik olarak bütün yeraltı suları yüzey suyu orijindir. Yeraltı suları tabii olarak yağmurlar, nehirler, göller ve rezervuarlardan beslenir.

Suni olarak ise sulamadaki fazlalıktan dolayı zemine sızan sular ve kanallardan sızan sular ile beslenir. Yeraltı suları su kalitesi yüksek olduğu için öncelikle içme suyu kaynağı olarak, sulamada, besicilikte, sanayide, madencilikte, termoelektrik güç üretimi gibi amaçlar için kullanılmakta, pek çok ülkede ise sadece içme suyu ve sulama suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yeraltı sularının bulunduğu ortam (akifer) doğal bir rezervuardır, bu rezervuarlardaki sular yüzey sularından çok daha fazla korunmuş olmasına rağmen yinede yeraltı

suyu kirlenmesi mevcuttur. Türkiye'nin yeraltı suyu kaynakları akiferlerin önemli bir kısmı karstik karakterli karbonattan oluştuğu için, yüzey kaynaklı kirlenmeye özellikle eğilimlidir [3,4].

Yağmur suyu yeryüzüne indiği andan itibaren kirlilik oranında ani bir artış olur. Hayvansal ve bitkisel artıklar, doğal ve suni gübreler, pestisitler ve mikroorganizmalar su ile yeraltına doğru taşınır. Suyun yüzey kısımlarındaki toprak tabakasından süzülmesi sonucunda, zemin cinsi özelliklerine de bağlı olarak kalitesinde önemli miktarlarda artış olur. Askıdaki maddelerin tamamına yakını topraktaki süzülme yoluyla uzaklaşır. Bunun sonucunda mikroorganizmalar büyük ölçüde azalırken, suyun karbondioksit miktarı artar, oksijen miktarı ise azalır [5].

Yeraltı suyu kirlenmesinin en büyük sebebi, evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan alıcı ortamlara verilmesidir. Katı, sıvı ve gaz atıklar alıcı ortama verildikten sonra; iklim durumuna, toprağın yapısına, yeryüzü şekline, atığın cinsine ve zamana bağlı olarak yeraltı sularına karışır. Ayrıca zirai mücadele ilaçlarının aşırı ve bilinçsiz kullanımı önemli bir kirlilik sebebidir. Kanalizasyon sisteminin bulunmadığı yerlerde, tuvalet çukurlarından ve gübrelerden sızan kirli sular yeraltı suyuna karışarak, özellikle yaz aylarında ölümlere yol açan bulaşıcı hastalıklara sebep olmaktadır [5].

### Yeraltı Suyunun Önemi

Yıllık yenilenebilir yeraltısu rezervi haricinde boşalım kotu üzerindeki tüm yeraltı suları olarak adlandırılan dinamik rezerv ile boşalım kotu altında bulunan ve dolu savak gibi çalışan statik rezervlerde mevcuttur. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda Türkiye'de en az 500 milyar m<sup>3</sup> dinamik rezervin, 2-3 trilyon m<sup>3</sup> kadarda statik rezervin olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin bu olası yeraltısu potansiyeli genellikle bilinmediğinden yeraltı suları, bazı yetkililerce yeterince önemsenmemektedir. Ayrıca, Türkiye'deki jeolojik formasyonların dağılımı ve konumu dikkate alındığında jeolojik yıllar içinde yeraltında birikmiş fosil su rezervlerinin de olması büyük ihtimal dâhilindedir. Bu rakamlar ve ihtimaller dikkate alındığı takdirde Türkiye yalnız kendi halkı için değil komşu ülkeler için de bir servet taşıyor olabilir. Nitekim Dünya Bankası raporlarında Türkiye'nin içinde bulunduğu coğrafyada 400 milyar dolarlık bir su potansiyelinin olduğu ifade edilmektedir [4].

### Yeraltı Suyu Kirliliğine Neden Olan Faktörler

Evsel ve sanayi atıkların belli bir alanda depolanması, atık suların foseptik çukurlarında biriktirilmesi ve tarımda verimin arttırılması amacı ile gübre ve ilaçların yoğun bir şekilde kullanılması o bölgede bulunan

**Çizelge 1.** TSE 266, WHO ve Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre içme suyu standartları [9].

Madde ismi	TSE 266		Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik	WHO
	Müsaade edilebilen değer	Maksimum değer	Parametrik Değer	Tavsiye edilen konsantrasyon sınırı <sup>a</sup> (mg/lit)
<b>1. Zehirli maddeler</b>				
Kurşun (Pb)	-	0,05 mg/lit	10 µg/l	0,05 mg/lit
Selenyum (Se)	-	0,01 mg/lit	10 µg/l	0,01 mg/lit
Arsenik (As)	-	0,05 mg/lit	10 µg/l	0,05 mg/lit
Krom (Cr)	-	0,02 mg/lit	50 µg/l	0,05 mg/lit
<b>2. Sağlığa etki eden maddeler</b>				
Florür (F)	1,0 mg/lit	1,5 mg/lit	1500 µg/l	1,4-2,4
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	-	45,0 mg/lit	50 mg/l	45
<b>3. İçilebilme özelliğine etki eden faktörler</b>				
Renk	5 birim	50 birim	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok	50 birim
Bulanıklık	5 birim	25 birim	Kokusuz	25 birim
Koku ve tad	Kokusuz	Kokusuz	-	Kokusuz normal
Buharlaştırma kalıntısı	500 mg/lit	1500 mg /lit	-	-
Demir (Fe)	0,3 mg/lit	1 mg/lit	200 µg/l	-
Mangan (Mn)	0,1 mg/lit	1,5 mg lit	50 µg/l	0,3 mg/lit
Bakır (Cu)	1,0 mg lit	1,5 mg/lit	2000 µg/l	0,05 mg/lit
Çinko (Zn)	5,0 mg/lit	15,0 mg/lit	-	1,0 mg/lit
Kalsiyum (Ca)	75,0 mg/lit	200,0 mg/lit	-	5,0 mg/lit
Magnezyum (Mg)	50,0 mg/lit	150,0 mg/lit	-	75,0-200,0 mg/lit
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	200,0 mg/lit	400,0 mg/lit	250 mg/l	250 mg/lit
Klorür (Cl)	200,0 mg/lit	600,0 mg/lit	250 mg/l	250 mg/lit
PH	7,0-8,5	6,5-9,2	6,5-9,2	6,5-9,2
Bakiye Klor	0,1 mg/lit	0,5 mg/lit	-	-
Fenolik maddeler	-	0,002 mg/lit	-	0,001-0,002 mg/lit
Alkil benzen sülfonat	0,5 mg/lit	1 mg/lit	-	-
Mg + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	500 mg/lit	1000 mg/lit	-	-
<b>4. Kirlenmeyi belirten maddeler</b>				
Toplam organik madde	3,5 mg/lit	-	-	-
Nitrit	-	-	0,5 mg/l	-
Amonyak	-	-	0,5 mg/l	-

yeraltı sularını kimyasal olarak kirlettiği bilinmektedir. EPA tarafından yeraltı sularının kirlenmesine neden olan 10 kirlenici kaynak; derin kuyular, pestisitler, ticari gübreler, fosseptik çukurlar, içme suyu kuyuları, atıksu lagünleri, arıtma tesisleri, sulama amaçlı pompaj kuyuları, yeraltı suyunu besleyen yüzeysel sulara atıksu deşarj eden fabrikalar ve katı atık depo alanları olarak listelenmektedir [6]. Türkiye’de yeraltı suyu kirlenme nedenleri doğal ve yapay nedenler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Doğal nedenler; kötü kaliteli akarsu, göl, bataklık etkileri, jeolojik formasyonlardan kirlenme, jeotermal alan etkileri, deniz suyu girişimi olarak sıralanabilir. Yapay nedenler bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte genellikle sanayi atıkları ve tarımsal ilaç ve gübre kullanımınıdır. Türkiye’yi çevreleyen bir çok kıyı ovasında yeraltı su kaynakları ya tamamen tuzlanmış veya tuzlanmaya başlamıştır. Bunun ana nedeni derine yakın akiferlerden çeşitli amaçlarla aşırı yeraltı suyu çekilmesidir çünkü hidrolik eğim küçük olduğundan aşırı çekim gibi doğal sistemi bozan bir dış etken deniz suyu girişini kolayca başlatabilmektedir [4].

### Yeraltı Suyu Kirlilik Kriterleri ve Koruma Önlemleri

İnsanların sağlıklı yaşamaları ve hayatlarını devam ettirebilmelerinde gerekli olan suyun kullanılabilmesi için fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bilinmesi, kullanım amaçlarına uygun olarak bu özelliklerin belli sınırları aşmaması, özellikle içme sularının hastalık ve zararlı etki yapabilecek mikroorganizmalar ile mineral ve organik maddelerden arındırılmış olması gerekmektedir. Su, fiziksel özellikleri olan bulanıklık, renk, koku, tat ve sıcaklık (5-15°C) gibi faktörler açısından içilmeye uygun olmalıdır [7]. Ayrıca, pH değeri ve suyun sertliği makul sınırlar içerisinde bulunmalıdır. Bu nedenle, dünyada ve ülkemizde kullanılmakta olan kullanım koşullarına (içme, kullanma, sulama) göre geliştirilmiş standart değerler (TSE 266 ve WHO gibi) bulunmaktadır (Çizelge 1) [8, 9].

Günümüzde sanayi atıkları, kentlerin çöp depolama sahaları, evsel atıklar, tarım alanlarında yapılan gübreleme benzeri çalışmalar, yüzey suyu ve yeraltı suları kirliliğinin önemli tehdit unsurlarıdır. Ergene, Küçük ve Büyük Menderes, Gediz nehirleri ve daha birçok akarsular bu kirlenici unsurlar nedeni ile bugün kullanılamaz duruma gelmişlerdir. Özellikle son yıllarda göçe bağlı olarak hızla ve çarpık gelişen kentlerdeki çöp depolama yerlerinin akiferlerin beslenme sahalarında seçimi yeraltı suyu kalitesini ciddi olarak tehdit etmektedir. Örneğin: Antalya İlinin çöp depolama sahası yöresinin en büyük yeraltı suyu akiferini oluşturan travertenler üzerinde kurulmuştur. Erzurum kentinin çöp depolama sahası yöresinin yeraltı suyu yönünden tek temiz kalmış akiferinin beslenme alanında yapılmak istenmektedir [10].

Kirlenmiş sular sadece yok olmuş sular değil çevre içinde her zaman tehdit unsurlarıdır. Kirlenmiş yeraltı sularının temizlenmesi için, çok uzun zaman ve

büyük maddi olanaklar gerekecektir. “167 Sayılı YAS Hakkındaki Kanun”un 1. Maddesi “Yeraltı sularının araştırılması, işletilmesi ve korunması Devletin hüküm ve tasarrufu altındadır” demektedir. Bu madde gereğince yeraltı sularının kirlenmesine yönelik hiçbir olaya meydan vermemek DSI’nin temel görevidir. Bir nükleer savaş halinde yüzey suları radyoaktif kirlenmeye maruz kalacak ve en geç kirlenecek olan yeraltı suları olacaktır. Bu tehlike dahi dikkate alınarak ülkedeki tüm yeraltı suları en iyi şekilde korunmalıdır [10].

### Atık Suların Yeniden Kullanımına İlişkin Problemler ve Kullanım Kısıtları

Tarımsal sulama için suların yeniden kullanılması ile ilişkilendirilen birçok risk etmeni bulunmaktadır. Bazı risk etmenleri, kısa sürede etkili olurlar ve ortaya çıkan etkinin şiddeti insanların, hayvanların veya çevresel temas potansiyeline bağlı olarak değişir (patojenler gibi). Diğer risk etmenleri ise daha uzun sürelerde ve artırılmış suyun sürekli kullanılmasıyla artan (toprak tuzluluğu, toksik kimyasalların etkileri gibi) etkilere sahiptir [11]. Atık suların içerdiği ve sağlık riski oluşturan patojenler ve kimyasallar ile bulaşma yolları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Atıksularda patojenler ve kimyasallarla ilişkili risk kaynakları

	Patojenler	Kimyasallar
Risk kaynakları	Bakteriler Virusler Helminthler (bağırsak solucanları) Protozoa (tek hücreliler)	Ağır metaller Nitratlar ve Nitritler Organik mikro kirleniciler
Riskin oluşma nedeni	Bir defalık veya tekrarlanan “tüketim” veya temas	Tekrarlanan “tüketim”
Riskin oluşma yolları	Sebze/et, madye gibi kabuklu deniz hayvanlarının yenmesiyle v.b. Suyun içilmesiyle. Aerosol nedeniyle. Doğrudan veya dolaylı yollardan suyla temas edilmesiyle. Vektörler aracılığıyla (su civarında yaşayan böcekler gibi).	Çeşitli yiyeceklerin yenmesiyle. Suyun içilmesiyle.
Risk kaynaklarına maruz kalınmışa etkilerin ortaya çıkışı	Genellikle çabuk görülür.	Genellikle uzun süre sonra görülür.

Arıtılmamış atık suların sulama amacıyla kullanılması, su kaynaklı hastalık risklerinin artmasına neden olur. Patojenler ve insan sağlığı üzerine etkileri incelendiğinde, arıtılmamış ve arıtılmamış atık sulara bağlı olarak ortaya çıkan enfeksiyonlar su yoluyla taşınan, yıkanarak giderilebilen, suyla bağlantılı vektörlerden kaynaklanan hastalıklar ve kötü sağlık koruma önlemleri nedeniyle oluşan enfeksiyonlar olmak üzere beş ana sınıf içinde gruplandırılabilir. Atık sular içinde çok sayıda hastalık etmeni mikroorganizma (patojen) bulunmaktadır [12]. Bununla birlikte, atık sularla yapılan sulamalar nedeniyle toprağa ve bitkilere bulaşan patojenlerin yaşam süreleri kısıtlıdır. Patojenlerin tarım topraklarında hayatta kalmaları çeşitli doğal koşullara göre değişmektedir. Doğal koşullara en dayanıklı olanlar ve aylarca uygun konukçu buluncaya dek hayatta kalanlar, helmith (bağırsak solucanları-kurtlarının larvaları) grubunda

**Çizelge 3.** Sulamada atık suların kullanılmasından kaynaklanan salgın hastalıkların incelenmesi sonucunda özetlenen sağlık riskleri [15, 13]

Etkilenen Grup	Sağlık riskleri		
	Nematod enfeksiyonu	Bakteriler/Virüsler	Protozoa
<b>Tüketiciler</b>	Artılmamış atık sular nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için ciddi Ascaris enfeksiyonu riski; yumurtaların hayatta kalmasına uygun koşullar olmadığı durumda, <1 nematod yumurta/L olacak şekilde arıtılan atık sular ile aşırı risk yoktur.	Artılmamış atık sular nedeniyle Kolera, tifo ve basilli dizanteri salgınları, Helicobacter pylori için pozitif sonuçlar bildirilmiştir; Fekal koliform $10^4/100\text{ml}$ değerini aşan arıtılmış sular kullanıldığında ishal vakaları artmıştır.	Atık sularla yüzeyleri ıslanarak sulanan sebzelerde parazit protozoa kanıtları bulunmuştur; ancak hastalık yayılmasına ilişkin doğrudan kanıt yoktur.
<b>Çiftçiler ve aileleri</b>	Artılmamış atık sularla temas nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için, özellikle çocuklar için <1 nematod yumurta/L'ye kadar arıtılan atık sular ciddi Ascaris enfeksiyonu riski oluşturur; çalışanlarda kanca kurdu enfeksiyonu riski artar.	Fekal koliform $10^4/100\text{ml}$ değerini aşan atık sularla temas eden çocuklarda ishal riski artar; arıtılmamış atık sularla temas eden çocuklarda Salmonella enfeksiyonu riski yükselir; kısmen arıtılmış atık sulara maruz kalan yetişkinlerin kan değerlerinde Norovirüs etkileri artar.	Arıtılmış ve arıtılmamış atık sulara bağlı Giardiyazis riski önemsizdir. Arıtılmamış atık sularla temas nedeniyle amipli dizanteri riski artış göstermektedir.
<b>Yakın çevrede yaşayan halk</b>	Yağmurlama sulama için Ascaris taşınımı çalışmamış ancak, yoğun temas olması halinde karık veya salma sulama için risk yukarıda verilen gibi, yüksektir.	Enfeksiyon görülme sıklığının artması, toplam koliform $10^{6-9}/100\text{ml}$ olan kötü kaliteli sularla yağmurlama sulama yapılması ve aerosol etkisi ile bağlantılıdır. Fekal koliform $10^4/100\text{ml}$ olan kısmen arıtılmış suların yağmurlama sulama ile kullanılması ise enfeksiyon artışı ile ilişkili değildir.	Atık sularla yapılan yağmurlama sulama süresince protozoa iletimine-taşınmasına dair veri bulunmamaktadır.

yer alan patojenlerdir. Patojenler genellikle düşük sıcaklıklarda ve yağışlı iklimlerde daha uzun süre hayatta kalırlar. Kurak ve yarı kurak iklimlerde, gerek toprak koşulları gerekse de iklim koşulları patojenlerin ölmesine veya etkisiz hale gelmelerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, doğrudan insan teması daha az olduğundan, tarımsal sulama için kullanılacak atık suların arıtma gereksinimi, park ve golf alanlarının sulanması gibi diğer kentsel alanlarda kullanımları için gereksinim duyulandan daha az olabilir. Bu nedenle, tarımsal sulama için su kaynağı arandığında, atık suların kullanılması uygun bir seçenek oluşturmaktadır. Ancak, atık sular arıtılmadan kullanıldığında veya arıtılmış sular gerekli sağlık standartlarını sağlamadığında veya diğer koruyucu önlemler uygulamadığında atık su kaynaklı bazı patojenler enfeksiyona neden olmaktadır. Tarımsal ürün yetiştiriciliğinde atık suların arıtılmadan kullanılmasıyla bağlantılı olarak ortaya çıkmış salgın hastalıkların incelenmesiyle, tüketiciler için sağlık riski oluşturan patojenler helmithler, bakteriler ve virüsler sınıfında saptanmıştır (Çizelge 3). Türkiye’de Hevsel-Diyarbakır’da yürütülen benzer bir çalışmada, pişirilmeden yenen sebzeler ve tahıl sulaması için arıtılmamış atık suları kullanan çiftliklerin çalışanlarında Hepatit E enfeksiyonu riski araştırılmıştır. İşçilerin %34.8’inde anti-HEV pozitif bulunduğu, kontrol grubunda ise bu oranın %4.4 olduğu saptanmıştır [14].

Atık suyun yeniden kullanımına ilişkin uluslararası düzeyde çok sayıda rehber vardır. Bunlardan en önemli iki tanesi atık suyun tarımda ve su ürünlerinde kullanımına ilişkin sağlık rehberi [16] (çizelge 4) ve atık su yeniden kullanım rehberidir [6] (çizelge 5). Ülkemizde ise 7.1.1991 yıl, 20747 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Su

Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nin 46’ncı maddesinde arıtılmış atık suların sulamada kullanılması ile ilgili olarak; atık suların araziye vermeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler belirtilmiştir. Bunlar;

1. Suyun içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
2. Sodyum iyonu konsantrasyonu ve Na iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
3. Bor, ağır metal ve zehir etkisi olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
4. Bazı koşullarda Ca ve Mg iyonlarının toplam konsantrasyonu
5. Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı
6. Patojen mikroorganizmaların miktarıdır.

Atık suyun içindeki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri zehir maddeler, bölgenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilir, bitkiler tarafından alınabilir veya suda kalabilir. Bu nedenle arıtılmış atık suların arazide kullanılması ve giderilmesi söz konusu olduğunda suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra bölgenin toprak özellikleri de dikkate alınmalıdır. Ülkemiz için tarımsal sulamada kullanılacak değişik sınıf sular için istenen sulama suyu kalite değerleri Çizelge 6’ de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları ise çizelge 7 de verilmiştir [17]. Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre topraktaki ağır metal sınır değerleri de çizelge 8 de verilmiştir [18]



Çizelge 4. Atık suyun tarımda ve su ürünlerinde kullanımına ilişkin sağlık rehberi [16]

Kategori	Yeniden kullanım koşulları	Etkilenen gruplar	Bağırsak nematotları <sup>b, c</sup> yumurta/L	Fekal koliform <sup>c</sup> Sayı/100 mL	Gerekli mikrobiyolojik kaliteye ulaşmak için öngörülen artım
A	Çiğ yenen sebzeler, spor alanları ve halka açık alanların sulanmasında	İşçiler, Tüketiciler, Halk	≤1	≤1000 <sup>d</sup>	Bir seri stabilizasyon havuzu veya eşdeğer bir artım
B	Tahılların, endüstri bitkilerinin, yem bitkilerinin, mera ve ağaçların sulanmasında <sup>e</sup>	İşçiler,	≤1	Herhangi bir standart önerilmemiş	8-10 gün stabilizasyon havuzlarında bekletmek yada eşdeğer parazit ve fekal koliform giderimi
C	İşçilerin ve insanların maruz kalmadığı B kategorisindeki <sup>f</sup> tahılların sulanmasında	Yok	Uygulanmaz	Uygulanmaz	Ön çökeltmeden az olmamak koşuluyla sulama teknolojisinin gerktirdiği ön artım

<sup>a</sup> Özel alanlarda yerel salgın, sosyo kültürel ve çevresel faktörler dikkate alınmalı ve rehber buna göre değiştirilmelidir.

<sup>b</sup> Ascans ve Trichuris türleri ve parazitler

<sup>c</sup> Sulama periyodu esnasında

<sup>d</sup> Halkın doğrudan temasa geçebileceği otellerde, halka açık yeşil alanlarda daha katı bir rehber (<200 fekal koliform/100ml) uygun olacaktır.

<sup>e</sup> Meyve ağaçlarının sulanması durumunda, meyveler toplanmadan iki hafta önce sulama kesilmeli ve yerden meyve toplanmamalıdır. Yağmurlama sulama yönteminde meyve bahçelerinin sulanmasında kullanılmamalıdır.

<sup>f</sup> Damla ve sızdırma sulama yöntemi tercih edilebilir

Çizelge 5. Atık su yeniden kullanım rehberi [6]

Yeniden Kullanım alanları	Gerekli Artım	Arıtılmış Su Kalitesi	Önerilen Gözlem Aralığı	Diğer kaynaklara mesafeler
Ticari olarak işlenen gıda maddelerinin sulanmasında	İkinci derece artım	pH = 6 - 9	pH Haftalık	İçme suyu kaynaklarından 300 ft (90m)
Meyve bahçeleri ve bağların sulanmasında	Dezenfeksiyon	BOD < 30 mg/l	BOD Haftalık	
		SS = 30 mg/l	SS Günlük	
		FC < 200/100 ml	FC Günlük	
		Cl <sub>2</sub> residual = 1 mg/l min	Cl <sub>2</sub> residual Sürekli	
Mera ve otlaklarda	İkinci derece artım	pH = 6 - 9	pH Haftalık	İçme suyu kaynaklarından 300 ft (90m)
Süt hayvanı otlaklarında	Dezenfeksiyon	BOD < 30 mg/l	BOD Haftalık	
		SS = 30 mg/l	SS Günlük	
		FC < 200/100 ml	FC Günlük	
		Cl <sub>2</sub> residual = 1 mg/l min	Cl <sub>2</sub> residual Sürekli	
Besi hayvanı otlaklarında	Dezenfeksiyon	BOD < 30 mg/l	BOD Haftalık	Yerleşim alanından 100ft (30m)
		SS = 30 mg/l	SS Günlük	
		FC < 200/100 ml	FC Günlük	
		Cl <sub>2</sub> residual = 1 mg/l min	Cl <sub>2</sub> residual Sürekli	
Ticari olarak işlenmeyen gıda maddelerinin sulanmasında	İkinci derece artım	pH = 6 - 9	pH Haftalık	İçme ve kullanma suyu kaynaklarından 50ft (15m)
		BOD < 30 mg/l	BOD Haftalık	
		Bulanıklık < 1NTU	Bulanıklık Günlük	
		FC < 0/100 ml	FC Günlük	Halka açık alanlardan 100ft (30m)
		Cl <sub>2</sub> residual = 1 mg/l min	Cl <sub>2</sub> residual Sürekli	

**Çizelge 6.** Sulama suyu sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriterleri [17]

Sulama Suyu Kalite Kriterleri	1.sınıf (çok iyi)	2. sınıf (iyi)	3. sınıf (kullanılır)	4.sınıf (ihtiyatla kullanılmalı)	5.sınıf (zararlı, uygun değil)
EC, $\mu\text{mhos/cm}$	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
Sodyum Yüzdesi, % Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	>26	
RSC meq/L mg/L	<1.25 <66	1.25-2,5 66-133	>2.5 >133		
Klorür ( $\text{Cl}^-$ ), meq/L mg/L	0-4 0-142	4-7 142-249	7-12 249-426	12-20 426-710	>20 >710
Sülfat ( $\text{SO}_4$ ), meq/L mg/L	0-4 0-192	4-7 192-336	7-12 336-575	12-20 576-960	>20 >960
Top. Tuz kon. mg/L	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
Bor (B), mg/L	0-0,5	0,5-1,12	1,12-2,0	2,0	
Sulama suyu sınıfı	$\text{C}_1\text{S}_1$	$\text{C}_1\text{S}_2-\text{C}_2\text{S}_1$	$\text{C}_1\text{S}_3-\text{C}_3\text{S}_1$	$\text{C}_1\text{S}_4-\text{C}_4\text{S}_1$	
$\text{NO}_3$ veya $\text{NH}_4$ mg/L	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
Fiz. koliform, 1/100 ml	0-2	2-20	20-10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	>10 <sup>3</sup>
$\text{BOI}_5$ , mg/L	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM, mg/L	20	30	45	60	>100
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	<6 veya >9
Sıcaklık, °C	30	30	35	40	>40
	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek	
Na (alkalilik) zararı (S)*	1	2	3	4	
Tuzluluk zararı (C)*					

SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, RSC: Sodyum karbonat kalıntısı,  $\text{BOI}_5$ : Biyolojik oksijen ihtiyacı, AKM: Askıdaki katı madde

**Çizelge 7.** Sulama Sularında İzin Verilebilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Elementlerin Konsantrasyonları [17]

Elementler	Birim Alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zemine sürekli sulama yapılması durumunda da sınır değerler mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	0.001	2.0
Kadmium (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li) <sup>1</sup>	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

**Çizelge 8.** Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri [18]

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

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

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

## SONUÇ

Yeraltı suyunun kirlenmesine neden olan faktörler içerisinde en önemlisi arıtım işlemi görmemiş olan atık suların alıcı ortamlara deşarjıdır. Bu yüzden evsel ve endüstriyel atık suların deşarjı ile ilgili standartlar dikkatle incelenmeli ve bu atık sular herhangi bir alıcı ortama verilmeden önce gerekli arıtım işlemlerinden geçirilmelidir. Atık suların deşarjı ile ilgili standartlar incelendiğinde, bu standartların gerektirdiği arıtma genellikle atık suların sulama suyu olarak kullanılması için gerekli arıtma derecesinde ve hatta daha fazla olabilmektedir. Bu durumda arıtılmış atık suları 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 atık suların alıcı su ortamlarına getirdiği kirlenme problemleri de önlenmiş olacaktır. Atık su arıtma tesislerinin planlama ve projelendirme safhalarında arıtılmış atık suların yüzeysel sulara deşarj şeklinde uzaklaştırılmalarına karar vermeden önce sulama suyu olarak kullanılabilme imkânlarının araştırılması ve projelendirme çalışmalarının buna göre yapılmasının büyük yararları vardır.

## KAYNAKLAR

- [1] Aslan, V., 2007. Türkiye'de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımı. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara.
- [2] DSİ, 2007 Yılı Faaliyet Raporu. [http://www.dsi.gov.tr/faaliyet\\_raporlari/2007\\_faaliyet\\_raporu.pdf](http://www.dsi.gov.tr/faaliyet_raporlari/2007_faaliyet_raporu.pdf).
- [3] Lange, A., L., Quinlan, J., F., 1988. Mapping caves from surface of karst terranes by the natural potential Method, "Proceedings of Second Conference on

- Enviromental Problems in Karst Terranes and Their Solutions, 16-18 Nov. Nashville, TN, 369-390.
- [4] Şahin, Ü., Örs, S., Molinari, N. B. ve Tunç T., 2010. Yeraltı Suyu Kalitesi ve Organik Tarım. Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu, 28 Haziran - 1 Temmuz 2010, Erzurum
- [5] Anonim, 2010. Su ve Kirliliği. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. [http://www.styd-cevreorman.gov.tr/su\\_kirliligi.htm](http://www.styd-cevreorman.gov.tr/su_kirliligi.htm)
- [6] USEPA. 1992. Guidelines for water reuse. EPA 625/R-92/004. Office of Water, Washington, DC, and Office of Res. and Development, Cincinnati, OH.
- [7] Canik B. 1998. Hidrojeoloji. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Müh. Böl. Ankara. p. 6-7.
- [8] Akpınar K. 2005. Dünyada ve Türkiye'de Suyun Kullanımı ve Geleceğimiz için Önemi. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Hizmet içi Eğitimi. Yalova, p. 6-16
- [9] Varol, S., Davraz, A. ve Varol, E., 2008. Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. *TAF Prev. Med. Bull.* 7(4):351-356
- [10] Kırmızıtaş H., 2008. Türkiye'deki Yeraltısularının Araştırılması, İşletilmesi ve Yönetimi Üzerine Bir Değerlendirme. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart, Ankara.
- [11] Toze, S., 2006. "Reuse of Effluent Water-Benefits and Risks", *J. of Agricultural Management*, No.80, pp 147- 159.
- [12] Salgot M., 2001. "Hygienic Aspects of DESAR: Water Circuits", In: *Decentralized Sanitation and Reuse, Integrated Envir. Tech. Series*, IWA Publishing, London, UK, pp 469-484.
- [13] Kukul, Y., S. ve Anaç, S., 2008. Tarımsal Sulamada Atık Suların Kullanımı. 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantıları, Havza Kirliliği Konferansı, 26-28 Haziran İzmir.
- [14] Ceylan, A., Ertem, M. ve Ozekinci, T., 2003. "A Special Risk Group for Hepatitis E Infection: Turkish Agricultural Workers Who Use Untreated Waste Water for Irrigation", *Epidemiol. Infect. J.*, No.131, pp 753-756.
- [15] Carr R.M., Blumenthal U.J. and Mara D.D., 2004. "Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture: Developing Realistic Guidelines", In: *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*, Scott C., Faruqi N. and Raschid-Sally L. (Eds.). CABI Publishing, pp 41-58.
- [16] WHO, 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- [17] Anonim, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 20747, Ankara.
- [18] Anonim, 2005. Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 25831 Ankara.