

## ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM ALANLARI VE KRİTERLERİ

### 7.1 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanım Kriterleri

#### Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksularda Aranacak Özellikler

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahiptir. Burada, gıda ürünlerinin direkt olarak yenmesine ve yağmurlama sulamasında havadan gelebilecek aerosollara dikkat edilmelidir. Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksulardaki en büyük risk, mikroorganizmalar tarafından bulaştırılabilecek hastalıklardır. Bu mikroorganizmalar, bakteriler, virüsler, helmintler ve protozoa olabilir. Helmintler (otlak hayvanları için mera sulamada dikkat edilmelidir.) ve protozoalar genellikle, bağırsak parazitleri olarak adlandırılır. Arıtılmış atıksuyun mikrobiyolojik kalitesi, suyun kullanılabilirliği hakkında bilgi verir. Bu riskler, arıtma tesisinin ve arıtılmış atıksuyun uygulandığı yerin birlikte kontrol edilmesi ile azaltılabilir.

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranacak özellikler, Tablo E7.1’de verilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik sınıf oluşturulmuş olup, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamakta ve bazı özel uygulamalarda ilave kriterler de uygulanabilmektedir. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların bitkileri ile su teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretim ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyu daha düşük kalitede olabilmektedir.

Tablo E7.1’de verilen sınıflandırmalar genel bir sınıflandırma olup, özel gereksinimler için farklı sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Tablo E7.2’de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir. Atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır:

- Su içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı

Atıksudaki çözülmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır. Aşağıda sırasıyla geri kazanılmış atıksudaki kalite parametreleri daha detaylı olarak açıklanmıştır.

**Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması**

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi <sup>a</sup>	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi <sup>b</sup>
<b>Sınıf A</b>				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri<sup>1</sup></i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma <sup>c</sup> -Filtrasyon <sup>d</sup> -Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTU <sup>f</sup> -Fekal koliform: 0/100 mL <sup>g,h</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b)Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)				
<b>Açıklamalar:</b>				
-Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.				
-Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.				
-Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.				
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.				
-Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.				
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.				
-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.				
<b>Sınıf B</b>				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri<sup>m</sup></i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma <sup>c</sup> -Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL <sup>g,i,k</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
b)Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişiminin kısıtlı olduğu yerler				
c)Otlak hayvanları için mera sulaması				
<b>Açıklamalar:</b>				
-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.				
-Püskürtülmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.				
-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.				
-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.				
<sup>a</sup> Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.				
<sup>b</sup> Su kaynakları ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.				
<sup>c</sup> İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünleri vb içerebilir.				
<sup>d</sup> Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.				
<sup>e</sup> Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımı kısıtlamaz.				
<sup>f</sup> Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.				
<sup>g</sup> 7günlük ortalama değerleri karakterize eder.				
<sup>h</sup> Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.				
<sup>i</sup> Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.				
<sup>j</sup> Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.				
<sup>k</sup> Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da düşürebilir.				
<sup>l</sup> İleri arıtma uygulanmalıdır.				
<sup>m</sup> Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.				

Tablo E7.2 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
<b>Tuzluluk</b>				
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözülmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000
<b>Geçirgenlik</b>				
SAR <sub>Tad</sub>	0-3	EC ≥ 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
<b>Özgül iyon toksisitesi</b>				
Sodyum (Na)				
Yüzeysel sulama	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlamatlı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzeysel sulama	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlamatlı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

#### a) Askıda katı madde

Askıda katı madde, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atıksu arıtma tesisi çıkışında AKM konsantrasyonu, 5-25 mg/L aralığında değişmektedir. Üçüncül arıtma uygulandığında, 10 mg/L'nin de altına düşmektedir. Bir çok sulama sisteminde, 30 mg/L'nin altındaki AKM konsantrasyonları tolere edilebilir durumdadır. Bununla birlikte, sulama sisteminin tıkanmasında AKM yanında, sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörlerde rol oynamaktadır.

#### b) Tuzluluk

Tuzluluk, su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. Toplam çözülmüş madde (TÇM) şeklinde ölçülmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC), (dS/m veya µS/m olarak ölçülür) TÇM'in bir diğer gösterim tarzıdır. TÇM ve EC arasında,

EC < 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 640

EC > 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 800

şeklinde bir ilişki vardır. Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik gradyan azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücresindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. 500-1000 mg/L aralığında ise hassas bitkiler etkilenebilir. 1000-2000 aralığında ise bir çok bitki bundan etkilenmektedir ve dikkatli bir yönetim gerekmektedir. Genellikle, 2000 mg/L'nin üzerindeki TÇM değerine sahip sulama suları ise tuzluluğa toleranslı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir. Topraktaki tuzluluk oranı, drenaj suyunun sürekli ve düzenli bir şekilde tabandan çekilmesi halinde kararlı hale gelmektedir. Topraktaki tuzluluk oranının kontrol edilmesinde, drenaj sistemi çok önemlidir. Tablo E7.3'de çeşitli bitkiler ve bunların tuzluluğa olan hassaslıkları verilmiştir.

Tablo E7.3 Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	TÇM > 2000 mg/L	TÇM: 1500-2000 mg/L	TÇM: 1000-1500 mg/L	TÇM: 500-1000 mg/L
	Tarla bitkileri			

Arpa

√

Fasulye				√
Mısır			√	
Pamuk	√			
Börtölce			√	
Keten			√	
Yulaf		√		
Pirinç			√	
Çavdar		√		
Şeker pancarı	√			
Şeker kamışı			√	
Sorgum		√		
Soya fasulyesi		√		
Buğday		√		
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızımızı pancar		√		
Lahana			√	
Havuç				√
Kereviz			√	
Salatalık			√	
Marul			√	
Soğan				√
Patates			√	
İspanak			√	
Kabak		√		
Domates			√	
Şalgam			√	
Çayır bitkileri				
Yonca			√	
Bermuda çimi	√			
Çayır otu (fescue)		√		
Fokstail (çimen)			√	
Harding çimi		√		
Meyve bahçesi			√	
Sesbania (çiçek)			√	
Sudan çimi		√		
Bakla			√	
Buğday çimi		√		
Meyveli ağaçlar				
Badem				√
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Hurma	√			
Üzüm			√	
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√
Çilek				√

\*Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

### c) Sodyum adsorpsiyon oranı

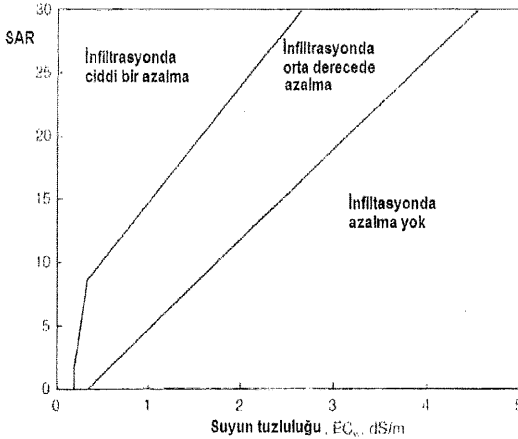
Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Sodyum oranı, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) (Konsantrasyonlar, meq/l cinsindedir.) ile gösterilmektedir. SAR, suyun sodyum (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

SAR değeri yerine son zamanlarda, revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri ( $SAR_{\text{tad}}$ ) olarak önerilmiştir. Burada,  $Ca^{+2}$  çözünürlüğünün, sudaki  $HCO_3$  konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği dikkate alınarak  $Ca_x$  değeri kullanılmaktadır.  $Ca_x$ ,  $HCO_3/Ca$  ve  $EC$ 'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$SAR_{\text{tad}} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

Bu ifadedeki,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Ca_x$  konsantrasyonları da meq/L cinsindedir. Ancak, pratik olarak SAR ve  $SAR_{\text{tad}}$  arasında çok önemli bir farklılık yoktur. SAR daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR yerine,  $SAR_{\text{tad}}$  değerinin kullanılması, su kalitesi ve topraktaki kimyasal karakteristiklerinin, kalsiyum dengesini bozabileceği durumlarda tavsiye edilmektedir. Yüksek alkaliteli sular, konsantrasyon dengesini bozabilmekte ve yüksek  $SAR_{\text{tad}}$  değerleri vermektedir. SAR ve  $EC$ 'nin topraktaki infiltrasyon üzerindeki etkisi, Şekil E7.1'de gösterilmiştir. SAR ve  $EC$ 'nin bilinmesi ile topraktaki sızma problemi konusunda bilgi sahibi olunabilmektedir. Topraktaki kalsiyum oranının, magnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Topraktaki geçirimsizliği düzenlemek üzere, kalsiyum sülfat ( $CaSO_4$ ) kullanılmaktadır. Kalsiyum sülfat, toprağa direkt olarak veya sulama suyu içerisine karıştırılarak uygulanabilmektedir.



Şekil E7.1 SAR ve  $EC$ 'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi

#### ç) Özgül iyon toksisitesi

Geri kazanılmış sudaki bir çok iyon, yüksek konsantrasyonlarında bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başlıcalarıdır. Sodyum toksisitesi, yapraklara zarar vermektedir. Bu durum, avokado ve bazı meyve ağaçlarında (kayısı, kiraz, şeftali) gözlemlenmiştir. Tablo E7.4'de sulama suyunda bulunan sodyumun değişik bitkiler için toleransı verilmiştir. Klorür de benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse, sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. Tablo E7.5'de, değişik bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları belirtilmiştir.

Tablo E7.4 Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
-----------	------------	-------	-------

Çok hassas	2-8	Yaprak dökme meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

**Tablo E7.5 Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları**

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

Bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir.

Ülkemizde bazı yörelerde bor elementinin taşıdığı önem dolayısıyla, Tablo E7.2’de verilen sulama suyu sınıflamalarına ek olarak bitkilerin bora dayanıklılığını göz önünde bulunduran ek bir artırılmış atıksu sulama suyu sınıflandırmasına gerek duyulmaktadır.

Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Ancak borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olmaktadır. Tablo E7.6’de bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri verilmiştir. Artırılmış atıksuların sulamada kullanılmasında bu sınıflandırmanın göz önüne alınması gerekmektedir.

**Tablo E7.6 Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri**

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı Bor: > 4.0 mg/L	Orta toleranslı Bor: 2.0-4.0 mg/L	Orta hassas Bor: 1.0-2.0 mg/L	Hassas Bor: 0.5-1.0 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kırmızı pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		

Soğan			√
Patates		√	
Domates	√		
Şalgam		√	
Yem bitkileri			
Kaba yonca	√		
Arpa (at yemi)			√
Börülce			√
Meyveli ağaçlar			
Kayısı			√
Böğürtlen			√
Üzüm			√
Portakal			√
Şeftali			√
Erik			√

\*Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

#### d) Eser elementler ve nütrientler

Eser elementler, ortamda çok düşük konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Tablo E7.7'de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Bu elementlerden yüksek konsantrasyonlarda alındığında, yaprakların zarar görmesi veya büyümede gerileme gibi etkiler görülebilmektedir. Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonu, genellikle düşük miktarlardadır. Ancak, evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumda, konsantrasyonlar yükselebilmektedir. Geri kazanılmış atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları, Tablo E7.8'de verilmiştir.

**Tablo E7.7 Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları**

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda da sınır değerler mg/1	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/1
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	3	2.0
Kadmiyum (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 <sup>2</sup>
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

<sup>1</sup>Sulanan narenciye için 0,075 mg/l'dir.

<sup>2</sup>Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.

<sup>3</sup>Tablo E7.6'da verilmiştir.

**Tablo E7.8 Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l)**

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Araık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmium (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Cıva (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

\* EPA'nın tavsiyesi

Herhangi bir madde toprakta mg/kg olarak  $C_0$  konsantrasyonuna sahipse sulanan topraktaki bu maddenin toplam değeri kg/ha olarak ( $4.2xC_0$ ) ifadesi ile belirlenebilmektedir. Tablo E6.7'nin birinci sütununda verilen "Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar", ancak ( $4.2xC_0$ ) ifadesi ile hesaplanan topraktaki mevcut miktarın çıkarılmasından sonra kullanılabilir.

*Örnek:* Topraktaki bor konsantrasyonu  $C_0 = 80$  mg/kg ise ve kabul edilebilir maksimum bor değeri 680 kg/ha olduğuna göre  $4.2xC_0 = 336$  kg/ha olur. Buna göre birim alana toplam olarak en çok 680 - 336 = 344 kg/ha borun sulama yoluyla eklenmesine izin verilebilir.

Geride kazanılmış atıksu, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geride kazanılmış atıksuda bulunan üç ana nütrient, azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, artırılmış atıksuda yeterli miktarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsantrasyonu düşük olmasına karşın, bitki büyümesini daha az etkilemektedir. Tablo E7.9'da değişik arıtma sistemleri ile geri kazanılmış atıksudaki nütrient seviyeleri verilmiştir.

**Tablo E7.9 Geride kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri**

Elementler, mg/L	Birim	Ham atıksu	Klasik Aktif çamur	BNR	BNR+filtrasyon+ dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF+RO+ dezenfeksiyon
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	mg N/L	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

BNR: Biyolojik nütrient giderimi MBR: Membran biyoreaktör

### e) Mikrobiyolojik kalite

Sulamada tekrar kullanılacak artırılmış atıksularda aranan mikrobiyolojik özellikler, Tablo E7.1'de verilmiştir. Artırılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik mikrobiyolojik sınıf oluşturulmuş olup, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamaktadır. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile su temas ettiği hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Bu durumda, sulama suyunda fekal koliform bulunmamalıdır ve mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir (Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 ml'yi



geçmemelidir). Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve küllür tarımı gibi halkın girişiminin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi daha düşük kalitede olabilmektedir. Bu durumda fekal koliform değeri, 200 ad/100 ml'den küçük olmalı (30 günlük ortalama değer) ve hiç bir zaman 800 ad/100 ml'yi geçmemelidir.

### Atıksu Geri Kazanımı İçin Teknoloji Seçimi

Bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak geri kazanılmasında su kalitesi açısından kullanılabilir en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur. Tablo E7.10'da atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler, Tablo E7.11'de ise değişik arıtma sistemlerinin logaritmik mikroorganizma giderme verimleri verilmiştir. Uygulanan ileri arıtma sistemleri ile birlikte, arıtılan su kalitesi de yükselmiştir. Atıksu geri kazanım amacı ve uygulanabilecek teknolojiler ise Tablo E7.12'de verilmiştir.

Atıksular, tarımsal sulamada tekrar kullanılırken, dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Bunlar, sulanacak bitkide meydana gelebilecek birikme, patojen mikroorganizmaların hala yaşama riski ve kimyasal maddelerin birikme riskidir. Yeşil alanların sulanmasında ise halkın bu bölgeye girmesi ve eser elementlerin birikmesi gibi riskler vardır. Geri kullanım esnasında, bütün bu riskler gözönüne alınır. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler, Tablo E7.13'de verilmiştir. Dezenfeksiyon, arıtılmış atıksu için çok önemlidir. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağı, Tablo E7.14'de verilmiştir.

**Tablo E7.10 Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler**

Arıtma birimleri	Askıda katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküler organik madde	Çözünmüş organik madde	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözülmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X						X	X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodializ		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değişirme					X		X	X			
İleri oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

**Tablo E7.11 Değişik arıtma sistemlerinin mikroorganizma logaritmik giderme verimleri**

	Arıtma sistemleri						
	Birincil arıtma		İkincil arıtma		Üçüncül arıtma		İleri arıtma
	Ön çöktürme	Aktif çamur	Damlatmalı filtre	Filtrasyon	Mikrofiltrasyon	Ters osmoz	
Fekal koliform	<0.1-0.1	0-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7	

Salmonella	<0.1-2	0.5-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Cyryptosporidium	0.1-1	1		0-3	1-4	4-7
Giardia	<1	2		0-3	2-6	>7
Enterik virus	<0.1	0.6-2	0-0.8	0-1	0-2	4-7

**Tablo E7.12 Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri**

Atıksu geri kazanım maksadı	Arıtma sistemleri
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Dinlenme maksath kullanılan sulakalanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarij)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon deęiştirme + UV

**Tablo E7.13 Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler**

Tip	Örnek	Arıtma ihtiyacı
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahanaya, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemden sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

**Tablo E7.14 Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılan kullanılmayacağını gösteren tablo**

	Tarla		Çayır-Mera		Sebze		Yem Bitkisi		Meyvecilik		Koru Ormanlık	
	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV
Biyolojik Arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çöktürme havuzlu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+
Havali stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+

(-) Su kullanılamaz

(+) Su kullanılabilir

BV: Bitki varsa

BY: Bitki yoksa

### Sulama Sisteminin Seçimi

Sulama sisteminin türü, bitki türü, su kalitesi ve miktarı, yerel özellikler ve maliyeti ile değişebilmektedir. Tablo E7.15’de, sulama metodları ve temel özellikleri ve bu yöntemlerin arıtılmış atıksu için değerlendirilmeleri Tablo E7.16’de verilmiştir.

**Tablo E7.15 Sulama metodları ve temel özellikleri**

Sulama yöntemi	Seçimi etkileyen faktörler	Arıtılmış atıksu sulaması için özel
----------------	----------------------------	-------------------------------------

**durumlar**

Salma sulama	Düşük maliyet Tam seviyelendirme gerekmemektedir. Düşük sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Çalışanların korunması gerekmemektedir.
Karık usulü sulama	Düşük maliyet Seviyelendirme gerekebilir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Uygun bitki seçimi yapılmalıdır.
Kenar sulaması	Nisbeten düşük maliyet Seviyelendirme gerekir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Bitki kısıtlaması yapılmalıdır.
Yağmurlama sulama	Orta-yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Orta sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmelidir.
Damlatmalı sulama	Yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Yüksek sulama verimi Yüksek halk sağlığı koruması	Özel bir koruma gerektirmemektedir. Deliklerin tıkanmaması için su kalitesine dikkat edilmelidir. Yönetimine daha fazla dikkat edilmelidir.

**Tablo E7.16 Sulama yöntemlerinin arıtılmış atıksu için değerlendirilmesi**

Değerlendirme parametreleri	Karık usulü sulama	Kenar sulaması	Yağmurlama sulama	Damlatmalı sulama
<i>Yaprakların zarar görmesi</i>	Bitki sirtta dikildiğinde yaprakta problem olmamaktadır.	Bazı alt yapraklar zarar görebilir.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Yaprak hasarı oluşmaz.
<i>Kökde birikmesi</i>	tuz Bitkiye zarar veren sirtta tuz birikmesi olabilmektedir.	Tuzlar düşey hareket eder ve birikmez.	Tuz, alt katmanlara doğru hareket eder ve birikme olmaz.	Tuz radyaldir ve damlama noktaları arasında tuz sıkışması olabilir.
<i>Sulama sonrası toprak su potansiyeli</i>	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir	Büyüme mevsiminde sulama sonrası toprak su potansiyeli düşer.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası yüksek toprak su potansiyeli oluşturur ve tuzluluğun etkisini azaltır.
<i>Verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış sıyım uygulanabilirliği</i>	Zayıf-Orta	Zayıf-Orta: İyi sulama ve drenaj	Zayıf: Bir çok bitkinin yaprağı zarar görebilir.	Çok iyi: Bir çok bitki çok az verim kaybı ile büyüyebilirler.

Arıtılmış atıksu ile sulamada, sulama seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, halk sağlığı, sulama verimi ve tıkanma problemidir. Halka sağlığı, sulama türünün seçimini etkileyen en önemli husustur. Yağmurlama sulama gibi yüzeysel sulama uygulamalarında bu risk büyüktür. Bundan dolayı, yağmurlama sulama, ileri arıtmadan sonra uygulanmalıdır. Bazı durumlarda yağmurlama sulama, herhangi bir işlemden geçmeden yenen gıda ürünlerine uygulanamaz. Halk sağlığı açısından en uygun yöntem damlatmalı sulamadır. Sulama sistemleri, maksimum verimi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sulama veriminde etkin hususlar, buharlaşma, bitki soğuması,

bitki kalite kontrolü ve köklerden tuzun aşağı katmanlara sızmasıdır. Damlatmalı sulamada, verim en yüksek olmaktadır. Askıda katı maddeler, tıkanmayı etkileyen bir diğer parametredir. İkincil ve üçüncül arıtma çıkışındaki askıda katı madde konsantrasyonu, sulama için düşük seviyededir. Tıkanmayı etkileyen bir diğer etken ise suyun hızıdır. Düşük hızlarda, tıkanma artabilmektedir. Tablo E7.17'de damlatmalı sulamada, tıkanmayı etkileyen su kaliteleri verilmiştir. Tıkanmanın önlenmesi açısından, bakiye klor konsantrasyonunun en az 0.5 mg/L olması gerekmektedir.

Arıtılmış atıksuların tarımda kullanımı sırasında hangi sulama türü ve sınıfının seçileceği ile ilgili detaylı değerlendirme, Tablo E7.18'de verilmiştir.

**Tablo E7.17 Damlatmalı sulamada tıkanmayı etkileyen su kaliteleri**

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok	Az – orta	Tehlikeli
AKM	mg/L	< 50	50-100	> 100
pH		< 7	7-8	> 8
TDS	mg/L	< 500	500-2000	> 2000
Mangan	mg/l.	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
Demir	mg/L	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
H <sub>2</sub> S	mg/L	< 0.5	0.5-2.0	> 2.0
Bakteri sayısı	sayı/l	< 10000	10000-50000	> 50000

**Tablo E7.18 Sulama türü ve sınıfının seçimi**

Bitki türü	Sulama türü	Sulama suyu sınıfı
Büyük yapraklı, yüzeyde veya yüzeye yakın büyüyen bitkiler (Brokoli, lahanası, karnıbahar, kereviz, marul)	Yağmurlama Damlatmalı	A B
Ham olarak yenen köklü bitkiler (havuç, soğan)	Yağmurlama, Damlatmalı, salma, karık usulü	A
Yer ile teması olmayan bitkiler (domates, fasulyeler, dolmalık biber, turunçgü olmayan meyve ağaçları, şaraplık üzüm dışındaki üzümler)	Yağmurlama Damlatmalı, salma, karık usulü	A B
Yer ile teması olmayan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (turunçgüller, fındık)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yer ile teması olan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (kavun, karpuz)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan bitkiler (patates, pancar)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan yüzeysel bitkiler (Brüksel lahanası, balkabağı, tahıl, şarap yapımı için üzüm)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
İnsan tüketimi için olmayan bitkiler, kültür tarımı, mera ve otlaklar	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B

## 7.2.Arıtılmış Atıksuların Endüstriyel FaaliyetlerdeYeniden Kullanımı

Endüstriyel faaliyetlerde ham su tüketiminin azaltılması ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla proses sonucu oluşan atıksular geri kazanılarak, kazan tamamlama suyu, soğutma kulesi tamamlama suyu, proses suyu, yangın suyu, tesis içi toz kontrolü ve saha sulaması amacıyla kullanılabilir.

Endüstriyel olarak yeniden kullanılacak üzere artırılmış atıksuların depolanması durumunda patojen gelişimi gözlenebildiğinden; depolama süresi, kullanım şekli ve amacı dikkate alınarak uygun dezenfeksiyon yöntemlerinin (klorlama, ozonlama, UV, membran prosesleri, diğer kimyasal dezenfektanlar) ve sürelerinin belirlenmesi gerekir.

### 7.2.1. Artırılmış Atıksuyun Endüstriyel Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Belirlenmesi

Sanayi tesislerinin normalde kullandığı su kaynağı (kuyu, şebeke suyu) yerine proses çıkış suyunu yeniden kullanması tesisin kullandığı toplam su miktarının ve üretim maliyetlerinin azalmasını sağlar.

Ayrıca endüstriyel kuruluşlarda farklı prosesler sonucunda oluşan atıksular, bir başka endüstriyel kuruluş için hammadde veya su ihtiyacını karşılamada kullanılabilir. Örneğin; bir tesisin soğutma suyu olarak kullandığı su, bir başka tesisin sıcak su ihtiyacını karşılayabilir.

Bir tesiste oluşan atıksu, tesisin farklı alanlarında da kullanılabilir. Kullanım alternatiflerini belirleyebilmek için;

- Tesiste kullanılan suyun kaynağı ve kullanım miktarı belirlenerek tesisin su kütle dengesi oluşturulmalıdır.
- Yeniden kullanılacak atıksuyun karakterizasyonu belirlenerek, her bir parametre için ihtiyaç duyulan standart değerler belirlenmelidir.
- Atıksuyun yeniden kullanımı için arıtma ihtiyacı ve maliyeti belirlenmelidir.
- Atıksuyun yeniden kullanımının fayda, maliyet ve riskleri belirlenmelidir.

Yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesinde ilk adım, tesiste yeniden kullanım için hangi potansiyel su kaynaklarının mevcut olduğunu belirlemektir. İkinci adım, içilebilir su veya arıtılmış su kullanmaktan ziyade, artırılmış atıksuyun yeniden kullanımının kabul edilebilir olduğu potansiyel proses uygulamaları belirlenmelidir. Bu iki adımı geliştirirken, atıksuların kalite özellikleri ve prosesler için su kalitesi gereksinimleri hakkında bilgi sahibi olmak yararlı olacaktır.

Bu iki adım ile birlikte, yeniden kullanım fırsatları ortaya çıkacak ve yeniden kullanım uygulaması için gerekli arıtma ihtiyaçları belirlenecektir.

#### Yeniden kullanım senaryoları;

- Doğrudan yeniden kullanım - Herhangi bir arıtma gerektirmez, en uygun maliyetli olan bu yeniden kullanım stratejisini uygulamak kolaydır.
- Yeniden kullanım kaynağını daha yüksek kalitede bir suyla (şebeke veya su hazırlama ünitesi çıkış suları ile) karıştırmak - Yeniden kullanılan su kaynağı hedef su kalitesi kriterlerini sağlamadığı zaman bir sonraki uygun maliyetli yeniden kullanım stratejisi olabilir
- Kısmi arıtma - İlk iki seçenekten daha yüksek bir maliyetle olsa da, daha yüksek kalitede su sağlar. Kısmi arıtma, pH kontrolü, dezenfeksiyon, çöktürme ve filtrasyondan veya bunların kombinasyonlarından oluşabilir.
- Tam arıtma - En yüksek su kalitesini sağlar ancak biyolojik arıtma, çöktürme, dezenfeksiyon, multimedya filtrasyon, membran filtrasyonu ve pH kontrolünden oluşabilecek arıtma proseslerinin bir kısmını veya tamamını içeren en yüksek maliyetli su yeniden kullanım yöntemidir.



Proses Yıkama ve Durulama Suyu									
Atıksu Arıtma Tesis Servis Suyu									
Araç Yıkama Suyu									
Tesis içi Yeşil Alan Sulama									
Yangın Hidrantları									
Ekipmanların Bakımı									

Ayrıca, sanayi tesislerinin su kullanımı, atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı değerlendirilirken kullanılan suyun kaynağı, (şebeke, yeraltı suyu, yüzeysel su veya arıtılmış atıksu vb) birim fiyatı, kalitesi ve miktarının da sorgulandığı bir algoritmanın oluşturulması önem arz etmektedir.

Tesiste öncelikle doğrudan kullanım, ardından uygun arıtma sonrası yeniden kullanım alanları, bu uygulamanın risklerini, faydalarını ve maliyetlerini analiz etmelidir. Risk, fayda, maliyet analizleri sonrası seçilen yeniden kullanım projesi uygulamaya konulmalı ve sonuçları izlenmelidir.

### 7.2.2 Arıtılmış Atıksuların Proses Suyu Olarak Kullanımı

Sanayi sektörlerinin her birinde farklı üretim ve prosesler mevcut olduğundan ihtiyaç duydukları su kaliteleri de değişkendir. Bu nedenle endüstriyel atıksuyun öncelikle tesisin hangi ünitelerinde kullanılabileceğine ilişkin bir ön çalışma yapılması gerekmektedir.

Tesisin yapması gereken ön çalışmaya ilişkin bilgiler “Arıtılmış Atıksuyun Endüstriyel Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Belirlenmesi” başlığı altında verilmiştir.

### 7.2.3 Arıtılmış Atıksuların Soğutma Kulesi Tamamlama Suyu Olarak Kullanımı

Soğutma kuleleri, proses ısını düşürmek ve bu ısıyı buharlaşma ile transfer eden devri daimli buharlaşmalı soğutma sistemleridir. Soğutma suyu devridaim yaparken, buharlaşmayla kaybolan suyun yerini almak için make-up suyu (tamamlama suyu) gereklidir.

Arıtılmış atıksular arıtma kimyasalları ve düşük konsantrasyonlarda mikroorganizmalar barındırabilir. Soğutma kulelerinde arıtılmış atıksu kullanımına ilişkin temel riskler biyolojik büyüme ve asit ve aşındırıcı yan ürünlerden kaynaklanan korozyondur.

Biyolojik filmler hızla büyüyebilir ve ısı değiştiricilerini tıkayabilir, soğutma kulesi ortamında film oluşturabilir veya soğutma kulesi su dağıtım püskürtücülerini/spreylerini tıkayabilir.

Ayrıca arıtılmış atıksuda scale (kazantaşı) oluşumuna sebep olan bileşenler (kalsiyum, magnezyum, sülfat, alkalinite, fosfat, silika ve florürdür) yer almakta olup scale (kazantaşı) oluşturma potansiyeline sahip bileşenler, kimyasal arıtma ve/veya konsantrasyon döngüleri ayarlanarak değerlendirilmeli ve kontrol edilmelidir.

Soğutma kulelerinde kullanılması tavsiye edilen su özellikleri Tablo E7.21 'de verilmektedir.

**Tablo E7.21.Soğutma kulelerinde kullanılması tavsiye edilen su özellikleri**

Parametre	Birim	Soğutma Kulesi			
		Tekt Geçişli Sistem		Resülkilyasyonlu Sistem	
		Tatlısu	Tuzlusu	Tatlısu	Tuzlusu
Silika (SiO <sub>2</sub> )	mg/L	50	25	50	25
Alüminyum (Al)	mg/L			0,1	
Demir (Fe)	mg/L			0,5	
Mangan (Mn)	mg/L			0,5	
Kalsiyum (Ca)	mg/L	200	520	50	420
Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> )	mg/L	600		25	
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	680	2700	200	2700
Klorür (Cl)	mg/L	600		500	
Florür (F)	mg/L	600	19	500	19
Çözülmüş Madde	mg/L	1000	35	500	35
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	5000	2500	100	100
Sertlik	mg/L CaCO <sub>3</sub>	850	6250	130	6250
Alkalinite	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500	115	20	115
pH	-	5-8,3			
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	75	75	75	75
Sıcaklık	°C	38	49	38	49
Bulanıklık	NTU	5000	100		

Artırılmış atıksuların soğutma kulelerinde yeniden kullanımına ilişkin tavsiye niteliğinde hazırlanmış olan; artırılmış atıksuyun genel kalite kriterleri, uygulanması gereken arıtma teknolojileri ve izleme sıklığını içeren hususlar Tablo E7.22’de verilmiştir.

**E7.22.Arıtılmış Atıksuların Soğutma Kulelerinde Yeniden Kullanımında Genel Kalite Kriterleri, İzleme Periyotları ve Arıtma Tipleri**

Yeniden Kullanım Alanı	Arıtma tipi***	Artırılmış Atıksu Kalitesi <sup>(1)</sup>	İzleme
* Açık Devre Soğutma	İkincil Arıtım <sup>(2)</sup>	pH = 6.0-9.0 ≤ 30 mg/l BOİ <sup>(5)</sup> (aylık ortalama) ≤ 30 mg/L AKM (aylık ortalama) ≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(6,8,9)</sup> ≥ 1 mg/L bakiye klor <sup>(7)</sup>	pH – haftalık BOİ – haftalık AKM – haftalık Fekal koliform - haftalık Bakiye Klor – süreklî <sup>(7)</sup>





TDS mak. (ppm)	700-3500	600-3000	500-2500	200-1000	150-750	125-625	100	50	0.05
Alkalinite mak. (ppm)	350	300	250	200	150	100	n/a	n/a	n/a
TSS Mak. (ppm)	15	10	8	3	2	1	1	n/a	n/a
İletkenlik mak. ( $\mu\text{mho/cm}$ )	1100-5400	900-4600	800-3800	300-1500	200-1200	200-1000	150	80	0.15-0.25
Silika mak. (ppm SiO <sub>2</sub> )	150	90	40	30	20	8	2	1	0.02
<b>Besleme Suyu (Degazör Sonrası, Kondens ve Tamamlama Suyu)</b>									
Çözülmüş Oksijen (ppm O <sub>2</sub> )	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	n/a
Toplam Demir (ppm Fe)	0.1	0.05	0.03	0.025	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Toplam Bakır (ppm Cu)	0.05	0.025	0.02	0.02	0.015	0.01	0.01	0.01	0.002
Toplam Sertlik (ppm CaCO <sub>3</sub> )	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	ND	ND	ND
pH @ 25 °C	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.8-9.6	8.8-9.6	8.8-9.6	n/a
TOK (ppm C)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	ND
Yağ-Gress (ppm)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	ND

\*Kazan işletmecileri için Amerikan Kazan Üreticileri Birliği (ABMA) su içerisindeki parametreler için maksimum konsantrasyon limitleri verilmektedir.

### 7.3. Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımında Diğer Uygulamalar

1- Genel temizlik, tesis içi veya ekipman temizliğinde yoğun su kullanılmaktadır. Genel olarak tesis içi veya ekipman temizliği yıkama, kimyasal ile yıkama ve durulama şeklinde kademeli olarak yapılmaktadır. Genel temizlik işleminde kullanılacak arıtılmış atıksuyun mikroorganizmalardan arındırılması gerekmektedir. Gıda hariç olmak üzere bazı sektörlerde temizlik amaçlı kullanılan suyun geri kazanılmış su olması durumunda yüksek kalitede arıtılmış atıksuya ihtiyaç vardır.

Tesis içi ve ekipman temizliğinde kullanılacak atıksuların 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte tanımlanan kalite kriterlerine uygun olarak arıtılması gerekmektedir.

2- Arıtılmış atıksuların yangın suyu olarak yeniden kullanımında, insan teması olması nedeniyle mikroorganizmaların yok edilmesi için iyi bir şekilde dezenfekte edilmelidir. Ayrıca yangın suyu hatlarında ve özellikle kapalı mekanlarda yangın suyunun püskürtme şeklinde verildiğinden, tıkanma yaşanmaması için askıda katı madde ve bulanıklık parametrelerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Yangın söndürme amacıyla kullanılacak atıksuların Tablo E7.1’de verilen Sınıf B kalite kriterlerine uygun olarak arıtılması gerekmektedir.

3- Arıtılmış atıksuların genellikle maden ve hazır beton endüstrisinde toz kontrolü/saha sulama suyu olarak yeniden kullanımında insan teması olması nedeniyle mikroorganizmaların yok edilmesi için iyi bir şekilde dezenfekte edilmelidir. Ayrıca saha sulamanın püskürtme şeklinde yapıldığından, tıkanma yaşanmaması için askıda katı madde ve bulanıklık parametrelerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Arıtılmış atıksuyun içinde tıkanmaya neden olabilecek madde olmaması gerekmektedir.

Toz kontrolü/saha sulama suyu amacıyla kullanılacak atıksuların Tablo E7.1’de verilen Sınıf B kalite kriterlerine uygun olarak arıtılması gerekmektedir.

4- Gri suların kapalı devre olarak pisuvar ve sifon suyu olarak yeniden kullanımında dezenfeksiyon uygulanarak mikroorganizma ve askıda katı madde giderimi yeterlidir.