AKDENİZ ÜLKELERİNDE ATIK SULARIN ETKİLİ YÖNETİMİ, İŞLENİŞİ VE TEKRAR KULLANIMI

- Özet -

Dr. Yavuz Özoguz (m-haditec GmbH & Co KG)

Bilgilerin dayandığı çalışmalar:

- Atık Su İdaresi Enstitüsü, Hamburg Teknoloji Üniversitesi
- Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Su Araştırmaları Enstitüsü (IWS) Birzeit Üniversitesi
- ENEA, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente Bologna, İtalya
- Adelphi Reseach, Berlin

İçerik Tablosu

1. Giriş **3**

2. Atık Su Karakteristiği, Tahlili ve Örneklemesi (A1) **4**

2.1 Evsel Atık Su Kaynakları **4**

2.2 Atık Su Parametreleri **6**

3. Hijyen ve Risk Yönetimi (A2) **7**

3.1. Atık Su Yönetimi ve Bağlantılı Hijyenik Risk **8**

3.1.1 Konvansiyonel (Standart) Sıhhileştirme 8

3.1.2 Ekolojik sıhhileştirme 10

3.1.3 Sürdürülebilir Sıhhileştirme 10

3.4 Yönergeler Yoluyla Risk Yönetimi **12**

4. Kaynak Yönetiminin Sıhhileştirilmesi (B1) **12**

4.1. Evsel Suda Materyal Akışı **13**

4.2 Gübre olarak sarı su **14**

4.3 Toprak düzenleyici olarak kahverengi su **14**

4.4 Dağıtılmış Konvansiyonel Sıhhileştirme Sistemleri **14**

4.5 Kaynak Yönetiminin Sıhhileştirilmesi **15**

4.6 Kahverengi ve Siyah Su İşleme Sistemleri **18**

4.7 Gri Su İşleme Sistemleri **18**

4.8 Sarı Su İşleme Sistemleri **19**

5. Yağmur Suyu Toplama (B2) **19**

5.1 Genel Hususlar **19**

5.2 Su Dengesi **20**

5.3 Taşkın Sularını Kirleten Maddeler **21**

5.4 Yağmur Suyu Sızıntısı **21**

5.5 Su Toplama Teknikleri **22**

5.6 Su Depolaması **23**

5.7 Güney Akdeniz Bölgesindeki Geleneksel Su Toplama Teknikleri **23**

6. Anaerobik Kanalizasyon İşlemleri (B3) **25**

6.1 Anaerobik İşlem Tanımı **25**

6.2 Anaerobik İşlem Teknolojisi **26**

6.2.1 Anaerobik tortul atık örtü (UASB) reaktörü 27

6.3 Anaerobik Olan ve Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması 28
7. Atık Su İşleme için Kurulan Su Havzaları (B4) 29
8. Lağım Tortul Atıklarının İşlenmesi (B5) 33
8.1 Tortul Atıkların Stabilizasyonu 34
8.2 Tortul Atıkların Kalınlaştırılması / Suyunun Atılması 34
8.3 Su Alma İşlemi 35
9. Atık Su Arıtma Tesislerinin İşletim ve Yönetimi (C1).....35
9.1 Atık Su İşleme Tesisi (WWTP) 36
9.1.1 Eleme / Filtreleme 38
9.1.2 Kum Tanelerinden Arıtma 38
9.1.3 Sedimantasyon (Tortullaşma) 39
9.1.4 Aktif Tortul Atıkları 40
9.1.5 Anaerobik İşleme 41
9.1.6 Lagünler 41
10. Atık Su Arıtma Tesislerinin İşletme Maliyetleri (C2) 42
11. Atık Suların Yeniden Kullanımına İlişkin Yönergeler ve Standartlar (D1).....42
11.1 Belirleyici Yönergelere İlişkin Uluslararası Deneyimler..... 43
11.2 Belirleyici Yönergelere İlişkin Bölgesel Deneyimler 44
12. Atık suyun yeniden kullanım teknolojileri (D2) 45
12.1 Temel işleme teknolojilerini gözden geçirme 46
12.2 Dezenfeksiyon teknikleri 47
13. Atık Su Yönetiminde ekonomik araçlar(D3) 48
13.1 Akdeniz Bölgesinde su fiyatlandırma örnekleri..... 49
14. Referanslar.....50

1. Giriş

Kentsel bölgelerde nüfusun hızla artmasıyla birlikte gelişen su kıtlığı, atık suların etkili bir şekilde yönetimi, işlenişi ve modern teknolojinin özellikle de modern düşüncelerin baz alınarak yeniden kullanılması için yeterli neden oluşturmaktadır. Maalesef geçmişte, Akdeniz Ülkelerinde lağımların işlenişi ve yeniden kullanım tesisleri için çok az yatırım yapılmıştır. Suyun teminine ve işlenişine atık suların toplanması ve işlenmesinden daha fazla öncelik verilmiştir. Ancak artan ihtiyaç, atık suların işlenişine daha çok önem

verilmesini gerekli kılmaktadır. Gün geçtikçe lağım sularının nehirler ve gölleri kirlettiğine dair farkındalık artmaktadır. Suyun yeniden kullanılması su içerisindeki besin maddelerinin geri almak, su kaynaklarının değerlendirmek ve böylelikle kullanıcı talebini azaltmakla mümkündür. Atık suyun ekolojik olarak işlenişini mümkün kılmak için bir kapalı döngü işleniş sistemi arzu edilir. Bu nedenle boru-sonu teknolojili geleneksel doğrusal sistemler yerlerini, suyun korunmasını ve mineral maddelerini geliştirecek dairesel ve entegre edilmiş işlenişe bırakmalıdır. Tüm bu hususlar, sözde sürdürülebilir atık su işlenişinde entegre olmuştur. Atık suların işlenişinin sürdürülebilmesindeki başlıca kriterler, ekonomik randımanı ve karşılanabilirliği, ekolojik sağlamlığı ve sosyal olarak kabul edilebilirliğidir.

2. Atık Su Karakteristiği, Tahlili ve Örneklemesi (A1)

Tüm fikirlere ve işleniş sistemlerine temel oluşturan gerçek, problemin çözümündeki temel olan mevcut atık su karakteristiği hakkındaki detaylı bilgidir.

2.1 Evsel Atık Su Kaynakları

Atık su, atılmış ya da önceden endüstride veya bir belediyede kullanılmış su için kullanılan terimdir. Ev halkının mutfakta, duşta, lavaboda tuvalet ve çamaşırhanede su kullanmalarının sonucunda açığa çıkan atık suya evsel atık su denilmektedir (Şekil 1'e bakınız).

Şekil 1: Ev atık suyu kaynakları (Samwel 2005)
(*Toilet:* Tuvalet - *Urine:* İdrar - *Faeces:* Dışkı - *Washing:*Yıkama - *Bathing:* Banyo - *Kitchen:* Mutfak - *Grey water:* Gri Su - *Black water:* Siyah su)

Evsel atık suyunun sertliği ve bileşenleri saat, gün ve mevsimsel etkenlere bağlı olarak kişi başına düşen kullanım miktarı, alışkanlıklar, beslenme biçimleri, yaşam standartları

ve yaşam tarzlarına göre değişiklik gösterir. Asıl neden, ev içerisindeki su kullanımın çeşitliliğidir. Tipik olarak, gelişmiş ülkelerde kullanılan su miktarı gelişmekte olan ülkelere oranla fazladır. Atık su bileşenleri tablo 1'de gösterildiği gibi farklı ana gruplara ayrılabilir. Çevreye boşaltılmaları halinde, su ile ilgili yaşamı direkt olarak etkilerler.

Fiziksel olarak tanımlanırsa, evsel atık su genellikle gri rengi, küf kokusu, %0.1 oranında katı içeriği ile karakterize edilir. Katı madde posa, yiyecek parçacıkları, tuvalet kağıdı, gres, sıvıyağ, sabun, tuz, metaller, deterjanlar, kum ve çakılların karışımıdır. Bu katı maddeler %30 oranında süspansiyon halinde tutulabilir ve %70 oranında çözünebilir. Çözündürülmüş katılar, kimyasal ve biyolojik işlemlerle çökeltilebilir. Fiziksel bakış açısıyla, süspansiyon halinde tutulan katıların alıcı çevreye bırakılmaları, tortul atıkların oluşmasına ve anaerobik durumlara neden olur.

Kimyasal olarak atık su, organik (%70) ve inorganik (%30) bileşenlerle birlikte farklı gazları içerir. Organik bileşenler öncelikle, kişilerin yeme alışkanlıklarına göre değişen, karbonhidratlar (%25), proteinler (%65) ve yağlardan (%10) oluşur. İnorganik bileşenler ise ağır metaller, nitrojen, fosfor, pH, kükürt, klor, alkali, toksik içerikler, vb…olabilir. Atık sudan açığa çıkan gazlar genellikle hidrojen sülfür, metan, amonyak, oksijen, karbondioksit ve nitrojendir. İlk üç gaz atık sudaki organik maddelerin ayrışması sonucunda oluşur.

Tablo 1: Evsel atık suda bulunan bileşenler

Bileşenler	**Ayrıntılar**	**Çevresel Etki**
Mikroorganizmalar	Patojenik bakteri, virüs ve kurtçuk yumurtaları	Banyo yaparken ve kabuklu deniz hayvanları yerken risk
Bakterilerle ayrışabilen organik materyaller	Nehirler ve göllerdeki oksijen tüketimi	Balık ölümleri, kokular
Diğer organik materyaller	deterjanlar, böcek zehirleri, katı yağ, sıvıyağ ve gres, renklendiriciler, çözücüler, fenoller, siyanür	Toksik etki, estetik bozukluklar, gıda zincirinde biyolojik birikim
Gıdalar	Nitrojen, fosfor, amonyum	Oksijen tüketimi, toksik etki eutrofikasyon, oksijen azlığı, toksik etki
Metaller	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Toksik etki, biyolojik birikim
Diğer inorganik materyaller	asitler, örneğin hidrojen sülfür, içerikler	Korozyon, Toksik etki
Termal etkiler	Sıcak su	Flora ve faunanın yaşam koşullarında değişiklikler
Koku (ve tat)	Hidrojen sülfür	estetik bozukluklar, toksik etki

radyoaktivite		Toksik etki, birikim

Biyolojik olarak atık su çeşitli mikroorganizmalar barındırır ancak bunların arasında en çok kaygılandırıcı olanlar tek hücreliler, bitkiler ve hayvanlar olarak sınıflandırılanlardır. Tek hücreliler sınıfına girenler, bakteriler, mantarlar, tek hücreli hayvanlar ve deniz yosunlarıdır. Bitkiler, eğreltiotları, yosunlar, tohumlu bitkiler, kızılyapraklar (koyunotu) içerir. Ayrıca atık sular, genellikle hasta olan yada belirli bir hastalığı taşıyıcı durumda olan insanlardan kaynaklanan çeşitli patojenik organizmaları da barındırır. Tipik olarak, işlenmemiş atık suda bulunan dışkıya ait koliform konsantrasyonu, her bir 100 mililitrelik örnek içerisinde birkaç yüz bin ile onlarca milyon arasında değişen miktardadır. Tipik evsel atık su bileşimi Tablo 2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. Evsel atık sudaki farklı parametreler (Henze ve Ledin, 2001)

Analiz parametreleri		**Atık Su Çeşitleri**			
	Miktar	**Konsantre edilmiş**	**Orta dereceli**	**Seyreltilmiş**	**Çok seyreltilmiş**
BOD_5	mg O_2/l	350	250	150	100
COD	mg O_2/l	740	530	320	210
TOC	g C/m^3	250	180	110	70
SS	g SS/ m^3	450	300	190	120
VSS	g VSS/ m^3	320	210	140	80
Alkalilik	eqv/ m^3 *	37	37	37	37
İletkenlik	mS/m **	120	100	80	70
Total Nitrojen	g N/ m^3	80	50	30	20
Total Fosfor	g P/ m^3	23	16	10	6
Katı yağlar, sıvıyağ ve gres	g/ m^3	100	70	40	30

* 1 eqv/ m^3 = 1 m eqv/l = 50 mg $CaCO_3$/l
** mS/m = 10 µS/cm = 1 m mho/m

2.2 Atık Su Parametreleri

Atık su genellikle aşağıda sınıflandırıldığı gibi farklı parametreler ile tanımlanır:

- **Fiziksel parametreler** (Katılık, bulanıklık, renk, sıcaklık, koku)
- **Kimyasal ve biyokimyasal parametreler** (Alkalilik, pH, çözünmüşlük (DO) Biyokimyasal Oksijen Gerekliliği (BOD), Kimyasal Oksijen Gerekliliği (COD), Toplam Organik Karbon (TOC), Klorür, Nitrojen, Fosfor, Sıvıyağ ve gres, Gazlar, Sülfür,

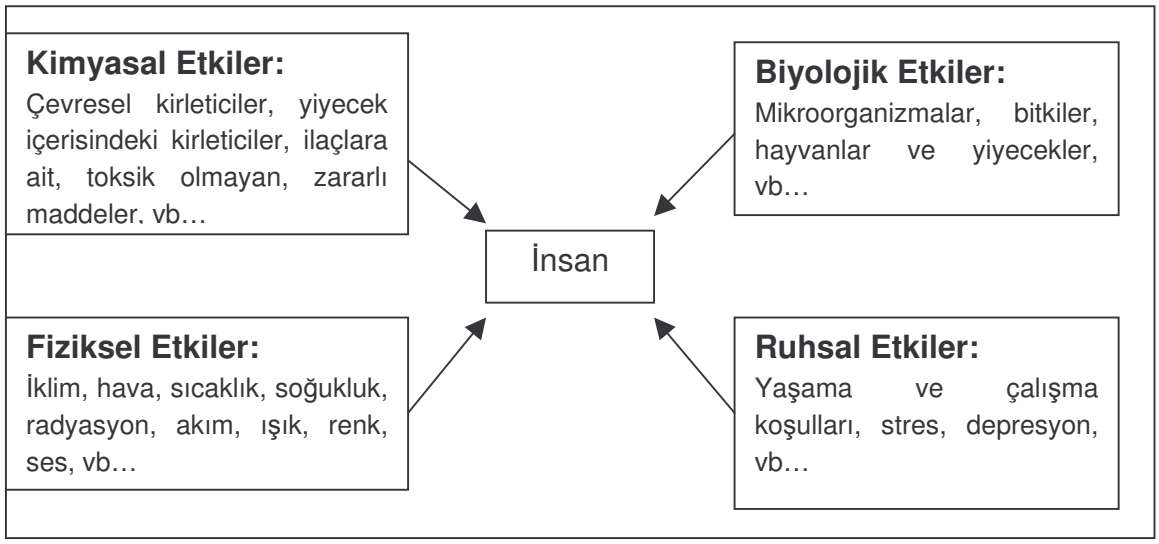
Kimyasal Analizler, özellikle de çevresel ve daha da sınırlı olan atık su analizleri, oldukça zordur. Bir çok analiz için çeşitli analitik yöntemler mevcuttur ve ek olarak atık sular sayısız çeşitlilikte bileşenler içerir. Ama yinede bunlar olası parametrelerin ufak bir

kısmını oluşturur. Spesifik bir tür suya veya bölgesel koşullara bağlı olarak diğer parametrelerin uygulanması da makul olabilir. Ayrıca, atık suların patojenik potansiyellerini değerlendirirken mikrobiyolojik parametreler de oldukça önemlidir.

3. Hijyen ve Risk Yönetimi (A2)

Hijyen, çevresel koşulları, örneğin fiziksel çevreyi: hava, su ve toprak, biyolojik ekosistemleri: hayvanlar, bitkiler ve son olarak sosyal yapıları kontrol ederek insan sağlığını koruma bilimi olarak tanımlanabilir. İnsan adaptasyonunu ve bağışıklık sistemini altüst edebilen ve böylelikle hastalıklara neden olan bulaşıcı olan ve olmayan olarak ayrılan iki tür çevresel etki vardır (şekil 2'ye bakınız). Bulaşıcı hastalıklar, insandan insana bulaşan ve hatta bazen hayvandan insana veya insandan hayvana bulaşabilen hastalıklardır. Çevresel kirlenme ile bağlantılı olan diğer sağlık sorunları suyun, yiyeceklerin ve havanın toksik kimyasallarla kirlenmesinin birer sonucudur. Bundan kaynaklanan hastalıklarsa bulaşıcı olmayanlar sınıfına girer.

1948 yılında kurulmuş olan WHO'nın (Dünya Salık Örgütü) tanımladığı şekliyle, Sağlık: yalnızca hastalık veya herhangi bir eksikliğin olmama durumu değil fiziksel, sosyal ve zihinsel olarak bütünüyle iyi olma durumudur ve Hijyen: çevreyi kontrol ederek insan sağlığını koruma bilimidir. Hijyen, çevresel hijyen, sosyal hijyen, bireysel hijyen, yiyecek hijyeni, mesleki ve evsel hijyen olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2: İnsan üzerindeki çevresel etkiler

3.1. Atık Su Yönetimi ve Bağlantılı Hijyenik Risk

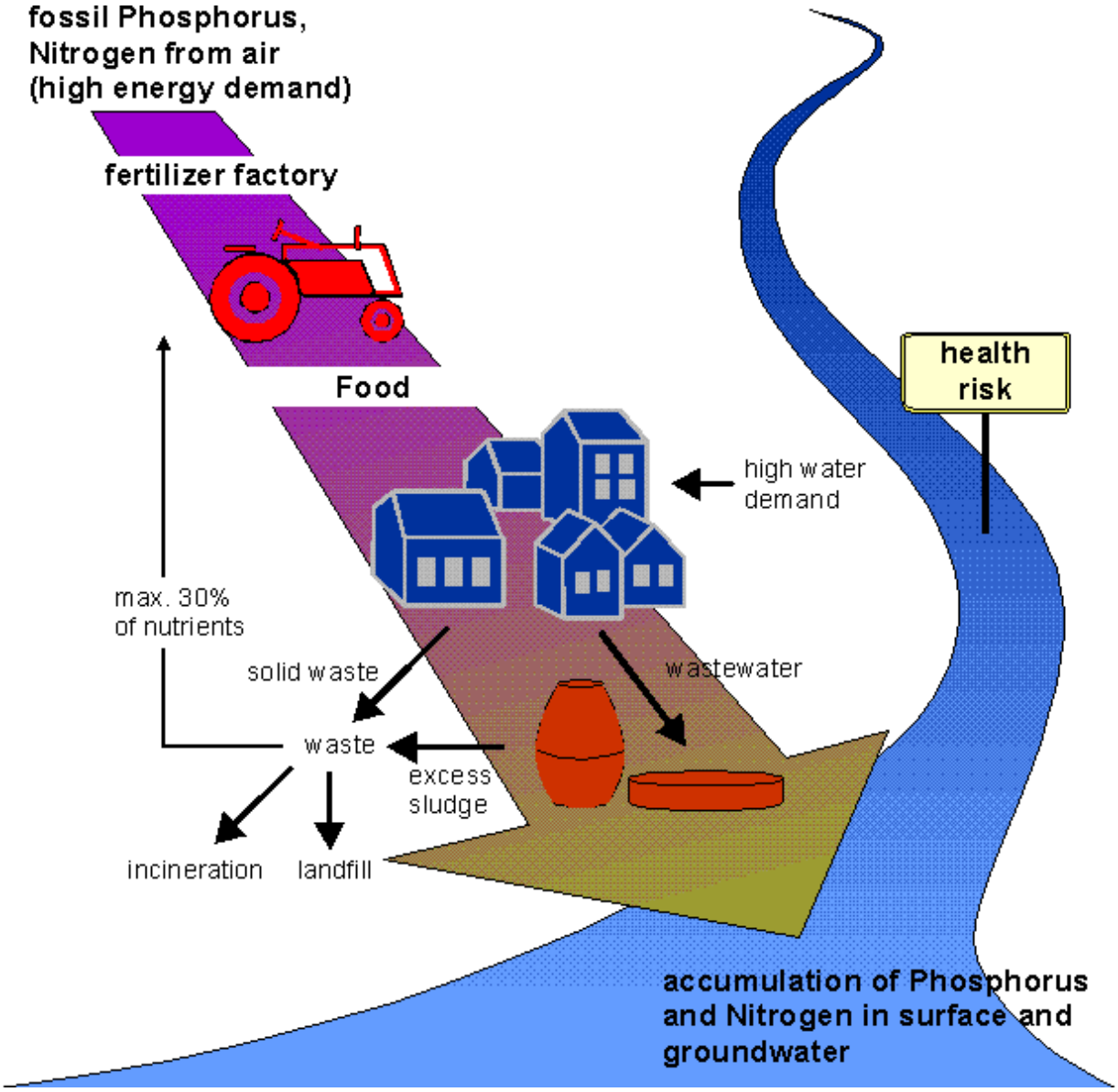
3.1.1 Konvansiyonel (Standart) Sıhhileştirme

Dışkıya ait atık suların yol açacağı hastalık risklerinden dolayı Avrupa'nın büyük şehirlerinde atık suyu insanların yaşadığı bölgelerden yakında bulunan su yollarına ve sonunda da denize akıtacak kanalizasyonlar yapılmıştı. Daha sonraları, işlenmemiş atık suyun, kanalize edildiği suya ait yaşamı bozduğu ve aynı zamanda aynı suyu herhangi bir şekilde içme suyu olarak kullanan insanların sağlığını bozduğu anlaşılmıştı. Bu nedenle, nehirleri olduğu kadar insanların da sağlığını su kaynaklı hastalıklardan korumak amacılıyla atık su, kanalizasyon sonunda nehre akıtılmadan önce bir işleme tabi tutulmaktadır. Bu yöntem atık suyun yönetilmesi konusunda dünya çapında bir standart oluşturmuştur. Ancak halen gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda atık su hiç bir işleme tabi tutulmadan boşaltılmaktadır.

Merkezileşmiş atık su yönetim sistemleri yüzyıldan daha uzun bir zamandır kurulmakta ve işletilmektedir. Bu süre içerisinde teknolojik gelişmeler olmuş ve atık su yönetimi sanayileşmiş birçok ülkede yüksek bir standarda ulaşmıştır. Ancak, gelişmekte olan ülkelerdeki mevcut durum, şu anda gelişmiş olan ülkelerin 19. yüzyıldaki durumundan farksızdır. Gelişmekte olan bu ülkelerde atık suyun yaklaşık %95'i hala hiçbir işleme tabi tutulmaksızın suya ait yaşama bırakılmaktadır. Bu yaklaşık 1.2 milyar insanın temiz içme suyuna ulaşmasını imkansız kılmaktadır. Dünya çapındaki hastalıkların hemen hemen %80'i su kaynaklıdır. Su kaynaklı hastalıklar, gelişmekte olan ülkelerde yılda yaklaşık 4 milyon bebek ve çocuğun ölümüyle sonuçlanmaktadır.

Konvansiyonel sıhhileştirme sistemlerinde yüksek miktarda temiz su iletim aracı ve bir küvet, atıkları atmak amacıyla kullanılmaktadır (şekil 3'e bakınız). Bu işlemde yüksek miktarda temiz suya çok düşük oranda insan dışkısı karışmaktadır ve bu nedenle, bileşenlerin yüzeye ve yeraltı su kaynaklarına salınmasını engellemek hemen hemen imkansızdır. Sonuç olarak büyük miktarda temiz su kirlenmekte ve diğer amaçlarda kullanım için uygunsuz sayılmaktadır. Ek olarak, atık suların karıştığı suların kirlenmesi ve hijyenik problemler nedeniyle, yüzeydeki su asla içme suyu kaynağı olarak kullanılamaz. Bu tür yüzey sularının içme suyu olarak kalitesini arttırabilmek için devasa yatırımlar gerekmektedir.

Konvansiyonel sıhhileştirme sistemlerinde, gübre olan ve dolayısıyla toprağı iyileştiren besin maddeleri ve organik maddelerin geri kazanılmasında belirgin eksiklikler görülmektedir.



Şekil 3: Konvansiyonel sıhhileştirme sistemleri (kaynak: Otterwasser GmbH)
(*Fossil Phosphorus:* Taşıllaşmış Fosfor - *Nitrogen from Air:* Havadan nitrojen - *high energy demand:* Yüksek enerji gerekliliği - *Fertilizer Factory:* Gübre fabrikası - *Food:* Gıda, besin - *Health risk:* Sağlık riski - Solid Waste: Katı atık - *High water demad:* Yüksek miktarda su gerekliliği - *Max. %30 of nutrients:* Besin maddelerinin maks. %30'u - *Waste Water:* Atık Su - *Excess Sludge:* Tortul atık fazlası - *Incineration:* Yakma - *Landfill:* Arazi doldurma - *Accumulation of Phosphorus and nitrogen in surface and groundwater*: Fosfor ve nitrojenin yeraltı suları ve yüzeyde toplanması)

Ayrıca oyuk tuvaletler, septik tanklar ve benzeri dağıtılmış sıhhileştirme sistemleri kirliliğe neden olmaktadır. Örneğin, bu sistemlerden sızan besin maddeleri ve patojenik mikroplar yeraltı sularını ve civardaki yüzey sularını kirletmektedir - bu sistemler patojen mikropları yok edemezler.

3.1.2 Ekolojik sıhhileştirme

İnsan dışkısındaki patojen mikropların hemen hepsi hastalıklara neden olma potansiyelindedir. Bu nedenle dışkının eve ait atık suyun kaynağında kontrol edilmesi, bu suların orada uzun süre kalıp insan sağlığını uzun vadede etkileyeceği su kaynaklarına ulaşmasını engellemektedir. En sağlıklı yöntem, dışkının seyreltilmesine engel olacak kaynakta tutulmasıdır. Bakterilerden ayrıştırılabilen bu katı fraksiyonlar biyolojik işleme tabi tutulabilir. Organik madde aerobik koşullarda bileşenlerine ayrıldığında mevcut potansiyel nedeniyle ısınır. Bu kendiliğinden oluşan ısı, patojen mikropları öldürür ve maddenin kendiliğinden hijyen olmasına neden olur (kompostolama).

Ayrılmış dışkı atıklarının sıhhileştirilmesinde kullanılan ikinci bir yöntem dehidrasyondur (suyunu giderme/alma). Dehidrasyona dayanan işleniş yöntemleri patojen mikropların etkili bir oranda azalmasına neden olur; bunun nedeni, %25 altındaki nem niteliğinin hızlı biçimde patojenleri yok etmesidir.

İdrarla bağlantılı hijyen riskleri, dışkınınki ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Dışkı karışmış olabileceğinden idrar biriktirme tanklarında biriken idrarın işlenmesi ve yeniden kullanılması hayati risklerle sonuçlanabilir. Pratikte, hiçbir sıhhileştirme yönteminde patojenlerin tamamen elimine edilebilmesi mümkün olmayabilir. Bu nedenle de patojenleri tamamıyla yok edebilmek için kişisel, yiyecek ve evsel hijyen gibi ikincil bir bariyere ihtiyaç vardır. Sonuç olarak, hijyenik farkındalık ve konuya ilişkin özel bir eğitim hayati meselelerdir.

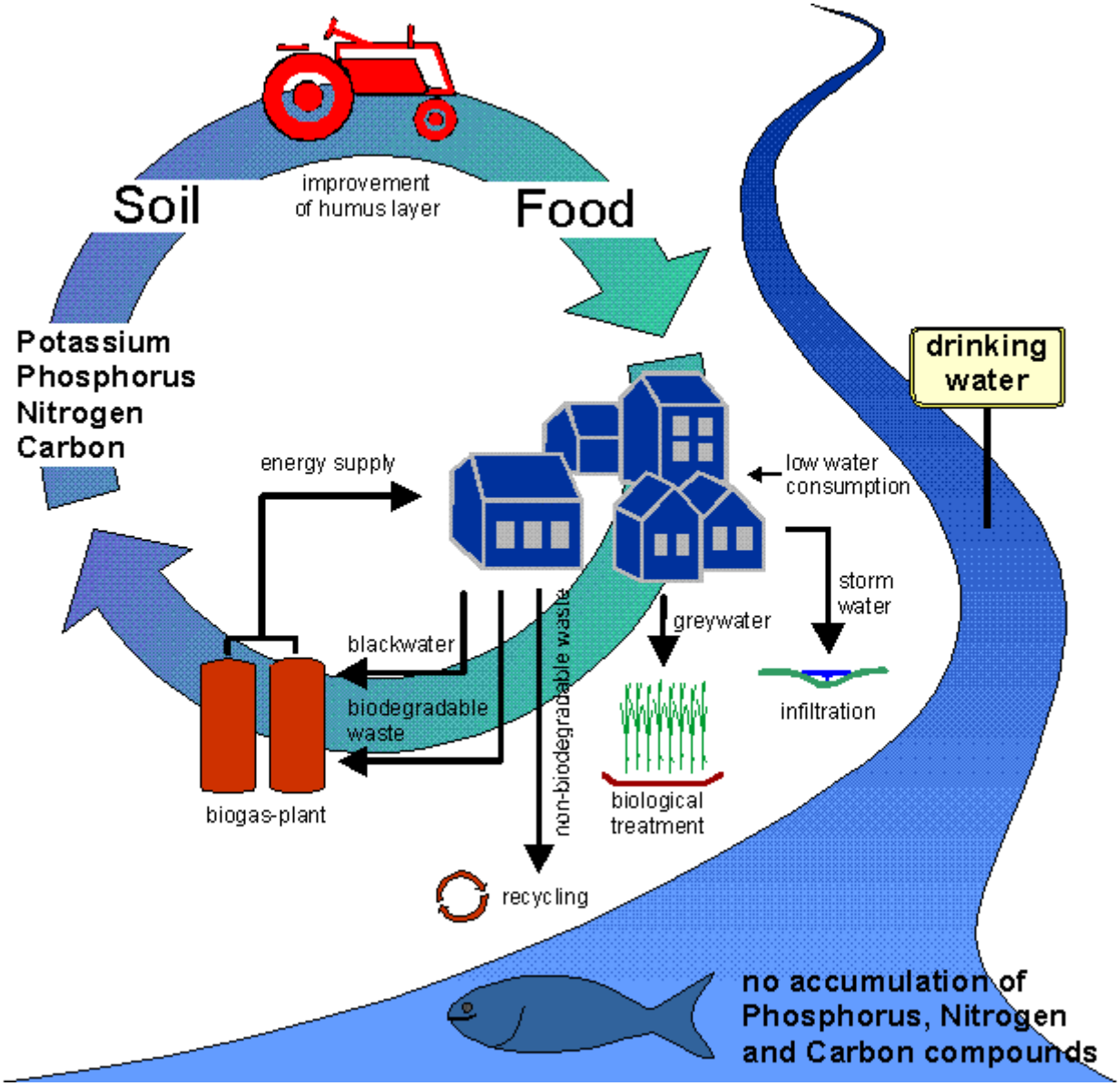
3.1.3 Sürdürülebilir Sıhhileştirme

Her ne kadar terimler yeterince açıklayıcı olmayıp farklı anlamlara neden olabilecekse de, bu bölümde sürdürülebilir sıhhileştirme açıklanmaya çalışılmıştır.

Sürdürülebilir sıhhileştirme ek hususlar içerir (Ayrıca şekil 4'e bakınız):

- Su ve besin maddesi döngüsünü ayırmak ve kapatmak, su döngüsünden ayrılan dışkıların neden olacağı hijyen problemlerinden kaçınabilmek
- Besin maddelerinin (fosfor ve nitrojen) zirai kullanım amacıyla geri alınması ve böylece enerji ve kaynak tasarrufu (yapay gübrenin üretimi için)
- Sudan tasarruf eden tuvalet sistemleri (vakum, ayırma veya kuru tuvaletler) aracılığıyla önemli oranda temiz su tasarrufu
- Enerji tüketimi yerine enerji üretimi (biyo-gaz) (lağım suyu bitkilerinde karbon ayrışımı için)

- Konvansiyonel merkezi kanalizasyon sistemlerine kıyasla yapım, işletim ve bakım maliyetinde tasarruf
- Lokal, sosyal, ekonomik ve çevresel koşullara tam olarak adapte olabilen sofistike bir modüler sistem
- Merkezi teknoloji ile kıyaslandığında daha kolay işletim ve bakım; yerel iş yaratma



Şekil 4: Sürdürülebilir Sıhhileştirme Sistemi (kaynak: Otterwasser GmbH)

(*Soil:*Toprak - *Food:* Gıda - *Potassium:* Potasyum - *Phosphorus:* Fosfor - *Nitrogen:*Nitrojen - *Carbon:* Karbon - *Energy supply:* Enerji temini - *Blackwater:*Siyah su - *Biodegradable waste:* Bakterilerle ayrışabilen atık - *Non-biodegradable waste:* Bakterilerle ayrışamayan atık - *Biogas plant:* Biyo-enerji tesisi - *Biological teatment:* Biyolojik İşlem - *Recycling:*Geri dönüşüm - *İnfiltration:* Filtreleme - *Greywater:* Gri su *Storm water:* Sağanak suyu - *Improvement of humus layer:* Humuslu zeminin iyileştirilmesi - *Drinking water:* İçme suyu - *Low water consumption:* Düşük miktarda su tüketimi - *No accumulation of Phosphorus, nitrogen, and carbon compounds:* Fosfor, Nitrogen ve karbon bileşimleri birikimi olmuyor)

3.4 Yönergeler Yoluyla Risk Yönetimi

Atık suyun işlenmesi ve yeniden kullanımına ilişkin yönergeler ve öneriler riskleri minimize etmek için kullanılabilecek birer araçtır. Günümüzde, sterilize edilmiş dışkı maddesinin uygulama sonrasında kapatılmasının yanı sıra meyve ağaçları dışındaki sebzeler, meyveler ve çiğ tüketilen ürünlerin köklerine gübre olarak kullanılmaması önerilmektedir. Ekolojik sıhhileştirilmede dışkının ve idrarın yeniden kullanımı ve güvenilir biçimde işlenebilmesi için WHO (Dünya Sağlık Örgütü) belirli yönergeler geliştirilmektedir ve bu yönergeleri 2006 yılında piyasaya çıkaracaktır. Dışkıya ait koliformların ve bağırsak mematot yumurtalarının patojen göstergesi olarak ve sınırlı lavaj için gösterge ya da kısıtlayıcı parametre olarak kullanıldığı, atık suyun yeniden kullanımına ilişkin WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından hazırlanmış mevcut yönergeler şu anda revizyon altındadır.

4. Kaynak Yönetiminin Sıhhileştirilmesi (B1)

İnsan dışkısı, bitkiler için oldukça besleyici gıdalar ve organik maddeler içerir ve gübreye dönüştürülüp toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilir. Bu nedenle, insan dışkısının yeniden kullanılması, çevre kirliliğine neden olan, fosil kaynaklarının çok sınırlı kısmını kullanan ve ancak yoğun enerji kullanımı ile açığa çıkan kimyasal gübrenin üretimini azaltır. Ek olarak, insan dışkısı kanalizasyona salıverilmediği için yüzey suyunun kirlenmesi de engellenmiş olur. Yüksek sulandırma nedeniyle, konvansiyonel sıhhileştirme sistemlerinde büyük miktarda besin maddesinin kullanılır duruma getirilmesi oldukça zordur. Gelişmekte olan ülkeler için oldukça maliyetli olup karşılanması hemen hemen imkansız olan modern atık su işleme tesislerinde bile besinler su kaynaklarına salıverilir ve bu eutrofikasyona neden olur. Ayrıca dışkılarda bulunan patojenler suya ait yaşama karışıp insan sağlığını tehdit edebilir.

Evde kullanılan suyun kaynak kontrolü sayesinde yüksek miktarda besin maddesinin yeniden açığa çıkartılması mümkündür. Kaynak yönetiminin Sıhhileştirilmesinin uygulanması ile insan dışkısının sulandırılmamış yada az sulandırılmış formda tutulması ve böylelikle etkili sıhhileştirmenin yanı sıra yüksek düzeyde besinin açığa çıkarılması da mümkün kılınmış olur. Kaynak yönetiminin sıhhileştirilmesinde kaynak kontrolü için uygulanan sistemler kompostolama/suyunu giderme tuvaletleri, ayıran yada karıştırmayan vakumlu tuvaletler.

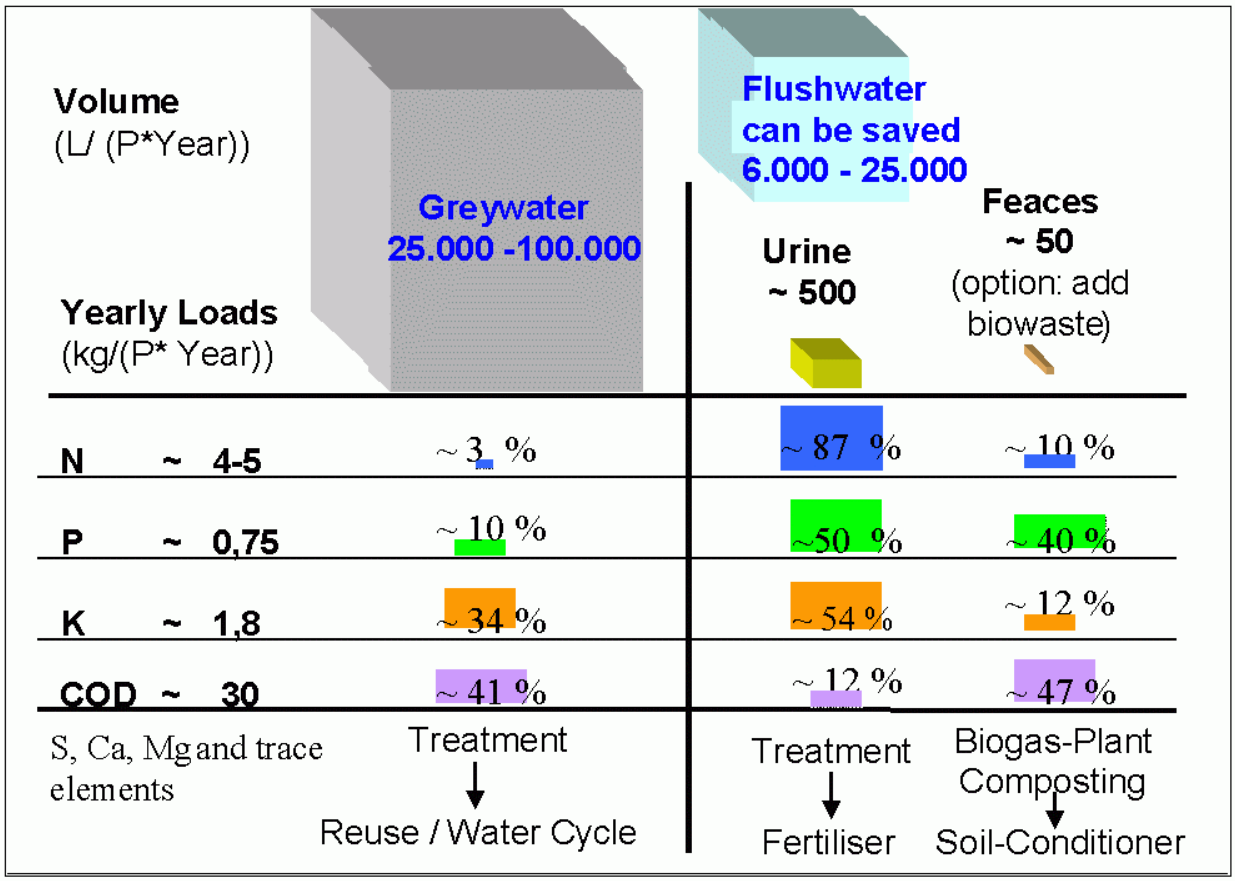
4.1. Evsel Suda Materyal Akışı

Farklı atık su akıntıları evsel (evde kullanılmış) atık suyu oluşturur (şekil 1'e bakınız). Tuvaletlerden açığa çıkan atık suya siyah su denir ve daha sonra sarı su (idrar veya sifon tankından gelen su ile karışmış idrar) ve kahverengi su (idrarsız tuvalet atık suyu) olarak ayrılır. Ek olarak, gri su evsel suyun mutfaktan, duştan, lavabo ve çamaşırhaneden açığa çıkan kısmını oluşturur.

Tablo 3: Evsel atık su akıntılarının tipik karakteristikleri

(Derlemenin yapıldığı kaynaklar: Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, Basel 1981, Vol.1, Larsen ve Gujer, 1996 ve Fittschen ve Hahn, 1998)

(Volume: Hacim - *Flush water can be saved 6.000-*25.000*:* Sifon suyundan 6.000-25.000 kg tasarruf edilebilir - *Greywater:* Gri su - *Flushwater:* Sifon suyu - *Yearly Loads:* Yıllık Miktarlar - *Urine:* İdrar - *Faeces:* Dışkı – *Treatment:* İşlem - *Reuse/Water cycle:* Yeniden kullanma/su döngüsü - *Fertilizer:* Gübre - *Biogas-plant composting:* Biyo-enerji tesislerinden açığa çıkan gübre(komposto), *Soil conditioner:* Toprak düzenleyici)



Patojenler nedeniyle kahverengi su yüksek oranda sağlık tehdidi oluşturur. Ancak bu oran evsel atık suda oldukça düşüktür (her bir kişi yılda yalnızca yaklaşık 50 litre

boşaltır). Konvansiyonel sistemlerde bu düşük miktar, daha yüksek oranda olan sarı su (dışkının yaklaşık 10 katı) ve gri su ile karışır. Gri suyun akış yoğunluğu alışkanlıklara göre değişiklik gösterir. Bu nedenle gri su yoğunluğu için belirtilen rakam kişi başına yılda 25,000 – 100,000 arasıdır.

Tablo 3'te açıkça görülebileceği gibi konvansiyonel sıhhileştirme sistemlerinde evsel atık su akıntılarının tipik karakteristikleri gösteriyor ki en fazla besini, kanalizasyona boşaltılan sarı su ve kahverengi su içermektedir. Genellikle de gübre olarak kullanılmak yerine (az da olsa tortul atıklarda bulunan bazı besinlerin yeniden kullanılan kısmı hariç) bu besinler ziyan edilmektedir.

4.2 Gübre olarak sarı su

Sınıflandıran tuvaletler sayesinde sarı su ayrı olarak toplanabilir. Atık su akıntılarının içerisinde en çok besini barındıran sarı sudur (Tablo 3). Genellikle bu besinler, bitkiler tarafından emilip gübre olarak kullanılabilecek formdadır. Yararlı bir şekilde idrar, çok düşük miktarda ağır metal ve patojenler içerir. Ancak ağır metal konsantrasyonları birçok kimyasal gübreye oranla oldukça düşüktür. Konvansiyonel atık su işleme sistemlerinde, sarı su bitki besini olarak kullanılabilecekken, israf edilmektedir. Belediyeye ait modern atık su tesislerinde oldukça masraflı olan nitratlaştırma ve nitratsızlaştırma yöntemleri kullanılarak (çoğu sarı sudan kaynaklanan) nitrojen bileşenleri ayrıştırılmaktadır.

4.3 Toprak düzenleyici olarak kahverengi su

Toprağın insan kaynaklı nedenlerle bozulması günümüzde çok ciddi boyuttadır. Toprağın niteliklerini yitirmesinin en büyük nedenleri: erozyon, verimliliğin azalması, toprağa aşırı yüklenme ve suni gübre kullanımıdır. Suni gübre, toprak aşınmasına engel olacak organik maddeyi içermediğinden, evsel atık su olarak kahverengi suyun, bol miktarda organik katılar içerdiğinden, işlenip yeniden kullanılması toprak azalmasını önlemede önemli bir tedbirdir. Sarı su gibi kahverengi suyun da ayrı yerde toplanması mümkündür.

4.4 Dağıtılmış Konvansiyonel Sıhhileştirme Sistemleri

Dağıtılmış sistemlerde her bir evden gelen atık su bir arada biriktirilir, işlenir ve düzenlenip kaynağında yada kaynağına yakın bir yerde yeniden kullanılır. Bu sistemin merkezi sistemlere göre üstünlükleri:

- Merkezi işleme sistemlerinde olduğu gibi genellikle kaynağından uzak yerlerde olan lağım suyunun akıtılması için kanalizasyon sistemlerine ihtiyaç yoktur. Ayrıca sıhhileştirme sistemi olarak kullanılan bu kanalizasyonların yapım, bakım, onarım ve işletimleri oldukça maliyetlidir. ;
- Merkezi sistemlere oranla seyreltme özelliği oldukça düşüktür ve bu da atık suyun ve içerisinde bulunan besin maddelerinin yeniden kullanılmasını mümkün kılar.

Dünyada geniş çapta kullanılan dağıtılmış atık su tesisleri vardır. Fakat bu sistemlerin tümü kirliliğe neden olur. Bu sistemlerden sızan besin maddeleri ve patojenler, yeraltı sularını ve yüzey suyunu kirletir, insan dışkısındaki patojenleri yok edip tarımda kullanılabilecek toprak düzenleyicileri ve mineralleri ayıramaz.

4.5 Kaynak Yönetiminin Sıhhileştirilmesi

Tüm konvansiyonel atık su işletim sistemleri, tarımsal nitelikten yoksun olup sistem, dizaynı yok etme özelliğine dayandığından besin maddelerini kullanılır hale getiremez. Gelecek için tasarlanan sıhhileştirme sistemleri, imha etmek yerine tarımda kullanılabilecek gübre ve toprak düzenleyici haline getirmeyi hedeflemelidir (Otterpohl, 1999). İnsan dışkısında bulunan besin maddeleri ve organik maddeler toprakta bulunan organizmalar için ekolojik olarak sağlıklı besin ve sonuç olarak da insana faydalı besinler üreten toprak için bir vazgeçilmezdir. Tek bir kişi yine bir kişiye yetecek miktardaki yiyecek için gübre üretebilir (Niemcynowicz, 1997). Bu nedenle yeni yaklaşım, biz insanların ürettikleri atıkları düşük maliyetle, patojenlerden arınmış, suya ait yaşamı kirletmeyecek niteliğe getirilmiş olarak yeniden kullanılır kılmak olmalıdır.

Şekil 4, bir besin döngüsü sonucu, temiz suyun korunmasına ilişkin olası bir örnekleme sunmaktadır.

Bu senaryo, kaynak yönetiminin sıhhileştirilme uygulamaları ile ekolojik prensibe dayalı olarak elde edilebilir. Konvansiyonel sıhhileştirme ile kıyaslandığında kaynak yönetiminin sıhhileştirilmesinin sayısız avantajları vardır (Werner ve çalışma arkadaşları, 2002; Otterpohl, 2001; Esrey ve çalışma arkadaşları, 1998). Bunların en önemlileri:

- İnsan dışkısının gübre ve toprak düzenleyici olarak yeniden kullanılması; bununla beraber su ve enerji tasarrufu
- Temiz suyun kirlilikten korunması ve daha az su tüketimi
- Modüler, dağıtılmış kısmen akışkan sistemleri tercih
- Yere, çevreye ve insanların ekonomik koşullarına uygun dizayn

- Hijyenik oluşu
- Toprak verimliliğini koruması
- Gıda güvenliği sağlaması
- Düşük maliyet (ekolojik, ekonomik ve sağlık maliyeti)
- Güvenilir olması

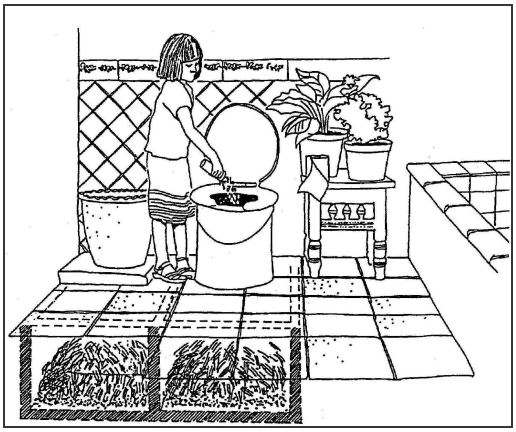
Sınıflandıran tuvaletler, idrar ve dışkıyı kaynağında ayırmak için uygun bir teknolojidir (Şekil 5). Genellikle, öndeki idrar ve arkasındaki de dışkı için olmak üzere tuvaletin 2 ayrı kasesi bulunur ve her bir kasenin içinde bulunan atığı kanalize ettiği bir çıkışı vardır. Çekildiğinde idrar kasesine giden sifon suyu az miktardadır (her bir kullanımda sadece 0.2 lt) yada hiçtir. Kullanıcı ayağa kalktığında, İdrarın gittiği boru mekanik bir cihaz ile kapanır. Ancak dışkı için kullanılacak su miktarı isteğe göre ayarlanabilir (her bir kullanım için 4 - 6 lt). Ancak mevcut sistemde atıkları ayrı yerde biriktirme sadece kişiler idrar yapmak için oturur pozisyonda iken randımanlı çalışmaktadır.

Şekil 5: Sınıflandıran Tuvalet (Kaynak: Roediger)

Şekil 6: Vakumlu Tuvalet (Kaynak: Roediger)

Şekil 6'da gösterildiği gibi vakumlu tuvaletler yıllarca uçaklarda ve gemilerde kullanılmıştır ve günümüzde su tasarrufu sağlamak amacıyla tren ve apartmanlarda artan biçimde kullanılmaktadır. Her kullanımda 1 lt su harcar ve yerçekiminden bağımsızdır. Siyah su, yerçekimi ve su yerine hava ve basınç diferansiyeli ile (vakum) biyo-enerji tesislerine nakledilir. Su, dışkıyı iletmek değil yalnızca kaseyi temizlemek amacıyla kullanılır. Ses, vakumlu tuvaletlerin en büyük sorunudur ancak modern üniteler sifonlu tuvaletlerden daha sesli değildir ve ses kısa sürer.

.



Şekil 7: İdrarı ayıran çift kanallı tuvalet (Kaynak: Esrey ve çalışma arkadaşları, 1998)

Kompostolama / susuz bırakma tuvalleri sifonu her çekişte sadece tuvaleti temizlemek için 0.2 litre suya ihtiyaç duyar (Şekil 7). Sifon suyunu az kullanan bu tür tuvaletler sudan tasarruf etmekle kalmaz aynı zamanda, az seyreltilmiş yada kuru dışkı açığa çıkardığından, konvansiyonel sistemlerden açığa çıkanlar gibi seyreltik olmayan dışkıya oranla bunu işlemek ve kullanılır hale getirmek oldukça kolaydır.

Şubat 2000 tarihinde, Water Supply and Sanitation Collaborative Council –WSSCC (Su Temin ve Sıhhileştirme Dayanışma Konseyi) tarafından ***"Bellagio Statement"*** (temiz, sağlıklı ve üretken yaşam: çevresel sıhhileştirmeye yeni bir yaklaşım) olarak adlandırılan bir uzman konsültasyonu düzenlenmiştir. Bu, Kaynak Yönetiminin Sıhhileştirilmesinin felsefesi ve temeline yönelik aydınlatıcı bilgi sunmuştur.

Sıhhileştirmedeki söz konusu hedefler kaynak kontrolü ile elde edilebilir! Evsel suyun farklı kanallar aracılığıyla ayrıştırılması dışkıdaki patojenlerin çevreye yayılmasını önler, sarı suda bulunan besin maddelerini yarar hale getirir, gri suyun dışkıya ait patojenler ve endüstri kaynaklı atık suda bulunan zararlı maddeler ile daha fazla kirlenmemesini sağlayıp yeniden kullanım için uygun duruma getirilmesini mümkün kılar ve hatta yeraltı sularını yeniden dolduracak kalitede su açığa çıkarılmasını sağlar. Kaynak kontrolü meselesinin bazı ön koşulları vardır: Sarı, kahverengi ve gri su için ayrı borular, bu suların karışmaması için 'karıştırmayan tuvaletler ve tuvalet sifonlarında düşük miktarda su kullanımı.

Genellikle kaynak ayrımı için farklı opsiyonlar vardır. Basit bir şemayla, gri suyun siyah sudan ayrılması evlerde iki ayrı boru sistemi (birisi gri diğeriyse siyah su için olmak üzere) ile sağlanabilir. Atık siyah suda mevcut katı maddeleri işleyip sıhhileştirmek için,

düşük hacimli tuvalet sifonları tercih edilir. Bazı sıhhileştirme tekniklerinde (susuz bırakma, kompostolama) siyah suda bulunan katı maddeler sıvı halden çıkarılmalıdır. Siyah suyun tamamının sıhhileştirilmesinin olası bir yöntemi anaerobik sindirimdir. Bu teknik ile biyo-enerji bile üretilebilir.

İkinci opsiyon, evsel atık suyu (gri, sarı ve kahverengi suyu) 3 ayrı kaynaktan ayrı ayrı toplamaktır. Bu opsiyon, evde 3 bağımsız tip boru gerektirir. Bu tür bir projede, mükemmel gübre olan "sarı su" arı bir biçimde biriktirilir.

4.6 Kahverengi ve Siyah Su İşleme Sistemleri

Kahverengi ve siyah suyu işleme sistemi olarak 'kuru' ve 'ıslak' olarak tanımlanan İki tür sistem vardır. Kuru sistemlerde su kullanılmaz ancak ıslak sistemlerde az miktarda, yalnızca dışkıyı dışkı merkezine yakın yere kurulmuş işleme tesisine iletmek amacıyla sifon suyu kullanılır. Sulandırılmamış veya az sulandırılmış dışkı maddeleri tarımda yeniden kullanılmadan önce sterilize edilmelidir. Bu kompostolama, susuz bırakma, vermicomposting (solucan teknikli kompostolama) ve anaerobik fermantasyon/sindirim ile yapılabilir. Bu yönteme dayalı olarak aşağıdaki sıhhileştirme sistemleri uygulamaya konulmuştur:

- Kompostolama ve susuz bırakma sistemleri
- Katı – sıvı ayırma sistemleri
- Rottebehaelter sistemleri

4.7 Gri Su İşleme Sistemleri

Organik kirlenmeyi gidermek için biyolojik olarak işleme yöntemleri gerekmektedir. En çok su havzaları, Sequence Bach Reaktörleri (SBR), membran biyo-reaktörleri, biyolojik havalandırmalı filtrelerde kullanılır. Şayet işlem sonrasında açığa çıkan su yeniden kullanılacaksa, aktif biyolojik birikimi yerinde tutmak ve katı maddelerin açığa çıkan sıvıya karışmamasını sağlamak için bu biyolojik işlemi fiziksel bir işlem izlemelidir. Membran – biyo-reaktörlerle işlem (MBR) büyük olasılıkla geleceğin seçeneği olacaktır (özellikle de yeniden kullanım amaçlanıyorsa).

Gri suyu işlemek için kullanılan fiziksel yöntemler kum filtresi, ultra-filtreleme, mikro-filtreleme ve ters osmozdur. Küçük ölçekli deney sonuçları göstermiştir ki SBR ve kum filtresi ile işleme tabi tutulan gri su, yeraltı sularını yeniden dolduracak kalitede su açığa çıkarmıştır. (Jiayi ve çalışma arkadaşları, 2001).

4.8 Sarı Su İşleme Sistemleri

İdrar, nispeten steril olup herhangi bir işleme tabi tutulmadan yeniden kullanılabilir (Wolgast, 1993). Ancak sarı suda dışkısal kirlenmeden dolayı düşük bir konsantrasyonda patojenler bulunmuştur. Şayet tarım alanında gübre olarak kullanmadan 6 ay kadar önce bir yerde muhafaza edilir ise hijyen olmama riski azaltılmış olur. (Jönsson ve çalışma arkadaşları, 1999; Hellström ve Johansson, 1999). Son zamanlarda toplanan sarı suyun işlenişi ve yoğunluk redüksiyonu için birçok çalışmalar yapılmıştır.

5. Yağmur Suyu Toplama (B2)

Yağmur suyunun yeryüzünde biriken kısmının yönetimi su ve atık su yönetiminin önemli bir kısmını oluşturur. Taşmayı ve erozyonu önlemek ve doğal hidrolik su döngüsünü yenilemek için kullanılan farklı yöntemler vardır. Yağmur suyunun toplandığı, nakledildiği ve suyoluna boşaltıldığı yöntemlerden farklı olarak, yağmur suyunun filtre edilip biriktirilmesi, su temininde önemli bir gelişmedir.

5.1 Genel Hususlar

Taşkın suyunu yönetim teknikleri, amaçlanan hedeflere göre özel olarak dizayn edilmelidir. Genel olarak yağmur suyu yönetiminde aşağıda belirtilen ölçütler kullanılmaktadır (Ferguson, 1998):

- Yağmur suyunu kullanma / yağmur suyunu toplama
- Yağmur suyunu filtre etme
- Nakil
- Alıkoyma / tutma

Yağmur suyu nitelik bakımından coğrafik konuma ve yağış zamanına bağlı olarak önemli değişiklikler gösterir. Yağmur suyu yağış süresi ve yoğunluğuna veya toplam miktarına göre karakterize edilir. Sağanak sularının değerlendirileceği bir tesis oluşturulurken yağmurun düşüş tahmini göz önünde bulundurulur. Dizayn seçilirken riskler ve maliyetler dengelenmelidir. Geniş çaplı ve ama seyrek sağanaklar düşünülerek dizayn edilen bir tesisin yetersizliğine ilişkin riskler azaltılmış olurken inşaat maliyeti arttırılmış olacağından tesis ekonomik açıdan uygunsuz olacaktır.

Drenaj alanı yada boşaltma havzası, yağmur suyu birikintisinin oluşacağı tahmin edilen bölgeye suyu akıtan alandır. Herhangi bir yağmur suyu birikintisi modeli drenaj alanını

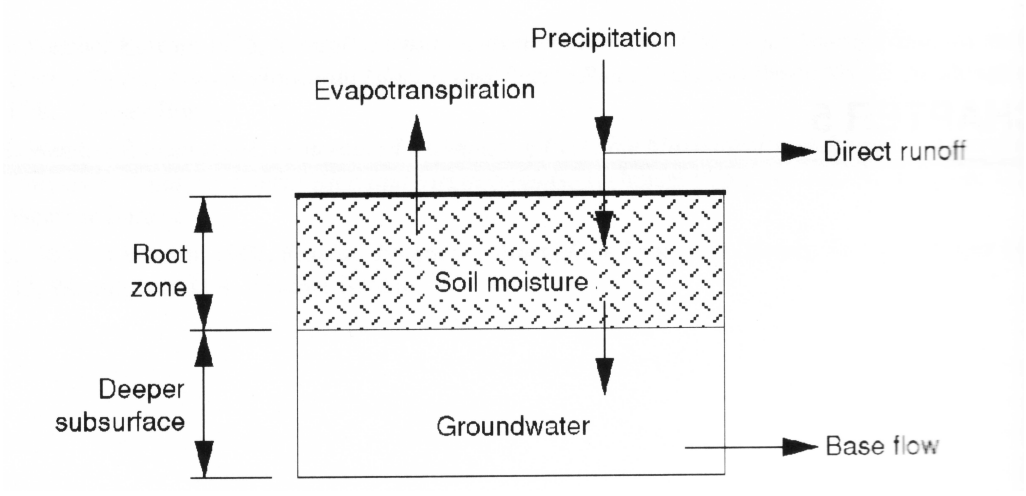
tespit etmenizi ve boyutunu, toprak cinsini ve diğer koşulları belirlemenizi ön koşar. Bir drenaj alanı harita üzerinde sınırları belirlenerek açıklanır.

Fazlalığın yol alma süresi sağanak akış oranını önemli oranda etkileyen, boşaltma havzasının önemli karakteristiklerinden biridir. Şayet belli bir yoğunluktaki yağmur suyu, drenaj alanını çabuk boşaltırsa, çıkıştaki akış hızının zirve noktası oldukça yüksek demektir. Birikim süresi yol alma süresinin özel durumuna bağlıdır.

Bir yağmur suyu yönetim tesisi dizayn edilmeden önce, her bir yağışın hacim oranıyla hesaplanan sağanak fazlalığı tespit edilmelidir. Yağmur suyu yönetim tesisine ulaşan yağmur suyu fazlalığının gerçek yoğunluğu birkaç faktöre bağlıdır. Bunlar sağanak yoğunluğu, tutma havzasının büyüklüğü, havzanın genişleme derecesi (geçirimsiz yüzeyin miktarı) ve toprak yüzeyidir. Bu, genellikle yüzeydeki akıntıdan ve çökelmeye karşı ani tepkilerden kaynaklandığı için “direkt akıntı” olarak adlandırılır. Bir akıntı ölçme istasyonu, akıntının mevcut durumunu mahallinden dolaysız ve gerçek bir biçimde gözlemleyebilme imkanı sunar.

5.2 Su Dengesi

Su dengesi, sağanak akış tahmininde olduğu gibi, akıntının yoğunluğunu ve oranını oluşturur. Sağanak akış ve su denge tahminleri değerlendirme ve dizayn için birbirlerini bütünler. Sağanak sırasında su fazlalığını kontrol edebilmek, bundan yararlanmak ve gerekli önlemleri alabilmek için sağanak fazlalığını tahmin etmek şarttır.



Şekil 8: Su dengesi kavramı (Kaynak: Ferguson, 1998)
(*Root Zone:* Kök Bölgesi - *Deeper Subsurface:*Derinlerdeki alt yüzey - *Evapotranspiration:* Buharlaşma - *Precipitation:* Yağışla çökelme - *Soil Moisture:*Toprak nemi - *Direct runoff:* Direk kayıp - *Groundwater:*Yeraltı suları - *Base flow:*Tabandan sızıntı)

Su dengesi tahminleri alanın kullanımı ve yerel ekosistemdeki sağanak kontrol etkilerini belirler. Su dengesinin temelinde varolan prensip yoğunluk değişim kavramıdır. İçeriye

ve dışarıya akan miktar arasındaki fark depolanan suyun miktarı ile hesaplanabilir. İçeriye akan miktar, çökelmeyi, dere akıntısını veya yapay bir sulanmayı içerebilir. Dışa akış (veya su miktarında azalma) buharlaşmayı, direkt taşmayı veya bir amaçla suyun boşaltılmasını içerebilir. Şekil 8, bu farklı akıntıları ve su dengesi kavramını göstermektedir. Su dengesi hidrolik sistemin etkisini değerlendirmenin bir yoludur.

5.3 Taşkın Sularını Kirleten Maddeler

Yağmur suyunun kirliliği, yüzeyden akarken suya kirleten maddelerin karışmasından kaynaklanabileceği gibi, atmosfer kirliliğinden (endüstriden ve taşıtlardan kaynaklanan kirlilikler gibi) de kaynaklanabilir. Ayrıca kağıt, yağ, metal veya plastik atıkları, bitkilerin organik kalıntıları ve dışkılar yüzeyde toplanıp akıntıyla beraber suya karışabilir. Su kirliliğinin asıl nedeni yoğunluk ve israftır. Bileşenler, konsantrasyon ve yapısal bakımdan yerel koşullara göre değişiklikler gösterir.

Atmosferden inen yağmur suyu genel olarak oldukça temizdir ve kirlenmenin büyük kısmı suyu tutma (barındırma) sistemiyle temastan sonra gerçekleşir. Yağmur suyu yeraltı tutma havzalarında bulunan suyun kaynatılmadığı ve işlenmediği sürece içme suyu olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ön işlem olarak, fiziksel (sedimantasyon/tortullaştırma ve filtreleme gibi) ve biyolojik işlemler kullanılabilir. Biyolojik işlem genellikle biyolojik olarak aktif toprak filtrelerinde ve kök bölgelerinde gerçekleşir. Fiziksel ve biyolojik işlemlerle ilgili daha fazla bilgi için lütfen bu bilgiler dizisinin alakalı bölümlerine de başvurun.

5.4 Yağmur Suyu Sızıntısı

Filtreleme tesislerinin kullanımı, yeraltı sularının değerlendirilmesinde ve doğal su döngüsüne karışma miktarını azaltmada önemli bir yer teşkil eder. Sağanak suyu filtreleme, yüzeydeki akıntıyı yeraltına indirir ve böylelikle su taşkını akıntısından etkilenmez. Ek olarak, taşkın suyunu kirleten önemli miktardaki kirletici madde arındırılabilir. Şayet suyun süzüldüğü toprak balçık yada humus (kara toprak) içeriyorsa, bu toprak akiferleri kirlenmekten koruyacak etkili bir filtre demektir.

Yerel yağmur suyu filtreleme yönteminin bazı avantajları şunlardır:

- Yeraltı su kaynaklarının yeniden doldurulması
- Doğal bitki örtüsünün korunması ve/veya arttırılması
- Alıcı sulara nakledilen suların kirliliğinin azaltılması
- Akış aşağı akıntı sınırlarının azaltılması

- Kombine kanalizasyon sistemlerindeki zemin taşmalarının azalması
- Yeraltı sularının kullanılmış olduğu bölgelerdeki yüzey çöküntülerinin azalması
- Daha az maliyetle daha küçük taşkın kanalizasyonları

Bazı durumlarda yağmur suyu filtrelemesinin aşağıda belirtildiği gibi negatif etkileri olabilir (Urbonas & Stahre, 1993):

- Zamanla toprak kapaklanabilir
- Bazı filtreleme tesisleri gerekli ve yeterli bakımdan yoksun kalabilir
- Bu sistemlerin başarısız olmaları durumunda bunlara güvenen topluluklar gelecekte çok yüksek bedeller altında bırakılabilir
- Yeraltı suyu artabilir, zemin taşmasına ve ardından bina temellerinin zarar görmesine neden olabilir.

Dağıtılmış yada yerinde filtreleme sistemleri için çeşitli olanaklar vardır ve sıklıkla farklı sistemlerin kombinasyonları kullanılır:

- Filtreleme yatakları
- Açık hendekler
- Süzülme havzaları
- Boru hendekleri

Filtreleme tesislerinin dizaynı öyle olmalı ki tesis taşmaya neden olmayacak şekilde çalışmalıdır. Filtreleme sistemlerinin kusursuz çalıştıklarından emin olmak için düzenli bakım gerekmektedir.

5.5 Su Toplama Teknikleri

“Su toplama “ terimi, yüzeylerden (çatılar, yer yüzeyi, kaya yüzeyi gibi) toplanan yağmur suyunun, evsel yada tarımsal amaçlı kullanımına imkan tanıyan tüm teknikleri kapsamaktadır. “yağmur suyunun konsantre bir şekilde büyük tutma havzalarından daha küçük hedef alanlarda kullanılmak üzere alınma işlemi” olarak da tanımlanabilir (Oweis ve çalışma arkadaşları,1999, sayfa 2). Su toplama teknikleri, dereler, nehirler ve pompalanan yeraltı sularının (kalıcı suların) dışındaki kaynaklardan sulama, evsel kullanım gibi amaçlarla su temin etmeyi hedefler. Genellikle yağmur suyu sistemi şu 3 bileşenden oluşur: tutma havzası, su haznesi ve dağıtım sistemi. Hedef bölge, işlenmiş alanın toprak profili veya bir su haznesi yada depo olabilir. Su toplama genellikle yağış miktarının ürünlerdeki buharlaşmayı dengelemede yetersiz olduğu bölgelerde ve otlağın gelişmesini güçlendirme amacını gerçekleştirmek için elverişlidir.

Yüzey suyu toplama yöntemi, su fazlalığı oluşturan alanlarda yeterli katsayıda su fazlalığına ihtiyaç duymaktadır. Toplama yöntemlerindeki farklılıklar kullanılan sistemin boyutundan kaynaklanmaktadır.

5.6 Su Depolaması

Depolama tesisleri, su fazlalıklarının daha sonra tamamlayıcı sulama amacıyla kullanılmasına imkan tanır. Yağış miktarına güvenilmezliğin bir ölçüde üstesinden gelinebilir. Bu hasat mevsiminin uzamasına veya ikinci bir hasada olanak sağlar. Depo, yerüstü veya yeraltında olabilir. Yüzeydeki tanklar genellikle demir –çimento karışımı, beton, briket, güçlendirilmiş beton, metal, plastik, fiberglas veya ahşap olabilir. Yeraltı tankları ise genellikle demir –çimento karışımı, beton ve geleneksel olarak balçıkla sıvanmış olabilir. Ayrıca su toplama barajları topraktan, kayadan veya kumdan inşa edilebilir.

Depolama tankları dayanıklı ve emniyetli bir kapaktan oluşmalı, içerisi korunabilmeli, bir taşma borusuna ve kapalı bir yeraltı girişine sahip olmalıdır. Çıkarma sistemi, su kalitesini koruyacak şekilde dizayn edilmelidir. Spesifik bir sistemin tercih edilmesi şu faktörlerle ilişkilidir:

- Elverişli alan
- Yerel olarak uygun olan opsiyon
- Suyun depolanmasındaki yerel gelenekler
- İnşaat işçiliği ve yeni tankların satın alınmasının maliyetleri
- Yerel olarak mevcut olan materyal ve vasıflar
- Zemin özellikleri
- Kullanım amaçları

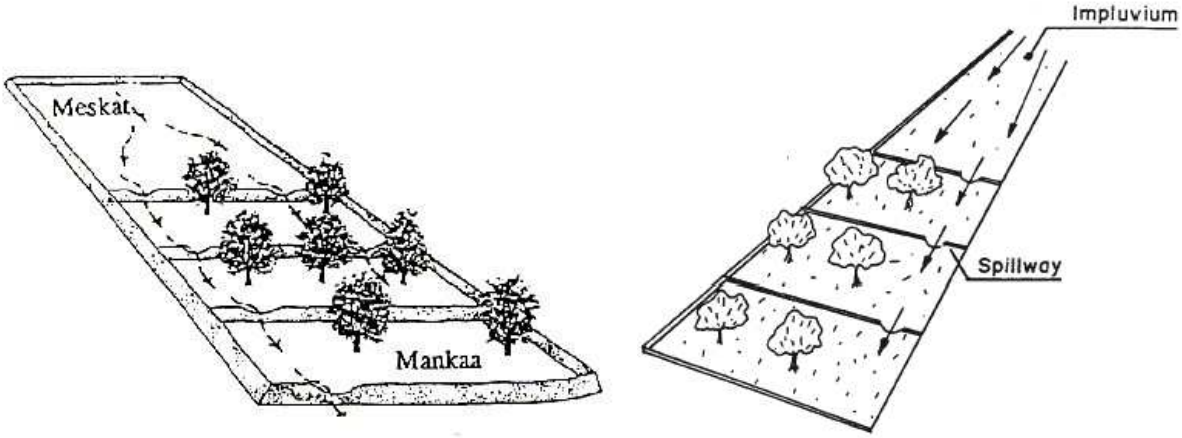
5.7 Güney Akdeniz Bölgesindeki Geleneksel Su Toplama Teknikleri

Güney Akdeniz Bölgesinde tipik su toplama teknikleri “Meskats”, “Mgouds”, “Jessours” ve Sarnıçlardır.

Meskat sistemi Eski Roma Döneminde kullanılmış olan çok eski bir su toplama yöntemidir. Yöntem, mikro havza su toplama tekniğinin küçük çaplı bir örneğidir. “Meskat” olarak adlandırılan tutma alanı veya ‘impluviyumdan’ ve bir mahsul ekme alanından (“mangaâ” veya “mankaâ”) oluşur (Şekil 9’a bakınız). Genellikle toprak bentler ile kapatılmış (yaklaşık 20 cm’lik) ve fazla suyu boşaltmak için taşma savağına

bağlanmış 500 $m^{2'}$ den oluşan impluviyum, akıntı aşağı olan alanlara ek su temin eder. İmpluviyum yüzeyi, ekin bölgesinin 2 katı kadar olmalıdır ki ürüne giden su (CCR) 2:1 olabilsin (Achouri, 1994). Akıntıyı kırdığından meskat yöntemi, yeraltı sularının yeniden doldurulmasını sağlarken toprak aşınmasını ve su taşkınlarını engellemiş olur.

'Mgoud'lar, büyük vadilere komşu düzlüklerde sık rastlanan, taşkın suyunun yönünü değiştirme yöntemidir. Vadi yataklarındaki taşkın suyunun, doğal rotasından yönü değiştirilerek yakınlardaki tarlalara akıtılması prensibine dayanan bir kanal sistemidir. Taşkın suları, asgari eğimli ("mgoud"), dayanıklı hendekler ve yanal kanallarla taşınarak geniş kapsamlı drenaj ağ kanalı ile meyve bahçelerini, tahılları ve sebzeleri sulamak üzere dağıtılır. Ürünler, paralel şeritler halinde, aralarında 3-5 ha boşluk bırakılarak ekilir, her birisi küçük bentler ile kapatılır ve diğer ekili şeritten ekilmemiş bir alan ile ayrılır (Alaya ve çalışma arkadaşları, 1993).



Şekil 9: Meskat sistemi (Kaynak: Prinz, 1996 ve Oueasser)

J*essour (*tekil: *Jesr)* yöntemi, Tunus'un güneydoğu bölgelerinde kullanılan ve bölge tarımının temelini oluşturan tipik bir sistemdir. Bu sistem, ardında ürünlerin (genellikle de meyve ağaçlarının) yetiştirildiği, akıntıya dikey olarak topraktan yada taştan yapılmış alıkoyma barajları temeline dayanır. Böylece baraj suyu, fazlalığı tutarak ürünleri sulamak üzere kanalize eder. J*essour (*tekil: *Jesr)* yöntemi genellikle dağlık bölgelerde, çoğu zaman vadilere kurulur; ancak düzlüklere kurulduğu da görülür. Barajlar suyun filtre edilmesini sağlarken, tarımsal verimliliği arttırmanın yanı sıra yeraltı sularının da doldurulmasını mümkün kılar. Aşırı miktardaki yağışlar esnasında, doğal felakete neden olabilecek fazlalıklar, barajların arkasında tutulabilir ve zarar riskini azaltabilir.

Depolama tankları veya sarnıçların dayandığı temel düşünce yağmur suyunun depolanarak evsel ihtiyaçlar, hayvanlara su verme veya sulama amacıyla kullanılmasıdır. Sarnıç, yeraltında, yatay ve dikey filtreleme kayıplarını engellemek için alçıtaşı veya betonla kaplanmış insan yapısı bir oyuktur. Genellikle bu yeraltı su depoları kapasiteleri 1 m^3 - 70000 m^3 arasında değişen, yağmur suyunu toplayan küçük

bir tutma havzasının (impluviyum) çıkışını kaplayan depolardır. Doğal çevrede 'impluviyum' sınırları bir yada birkaç olukla veya taş bentlerle çizilmiş su fazlalığını depolama tankına ileten özelliktedir. Su, akan su ile gelen kum taneleri, bitkiler ve diğer maddelerden ayrıştırılarak bir havuzdan geçer. Üst kısımda olan buharlaşmaya engel 1 veya 2 adet açıklık suyun alınmasını sağlar.

Tunus'ta 2 çeşit sarnıç veya su deposu bulunur: "majel" veya "fesguia". Genellikle "fesguia" da daha geniş tanklara sahiptir, fakat kapasitesiyle uyumlu olarak yapımları oldukça maliyetlidir. Farklı sarnıç türleri,

- Binalara entegre edilmiş
- Kapalı impluviyum ile izole edilmiş
- Doğal impluviyum

6. Anaerobik Kanalizasyon İşlemleri (B3)

Kanalizasyonların, ikincil bir aerobik, biyolojik işlemle birlikte konvansiyonel araçlarla işlenmesi yeterlidir. Ancak bu yeterlilik yüksek maliyetler ve teknoloji ile mümkündür. Alternatif olarak, anaerobik işlemin takdire değer bir yöntem olup sürdürülebilir atık su yönetiminin öbeğini oluşturduğu ispatlanmıştır.

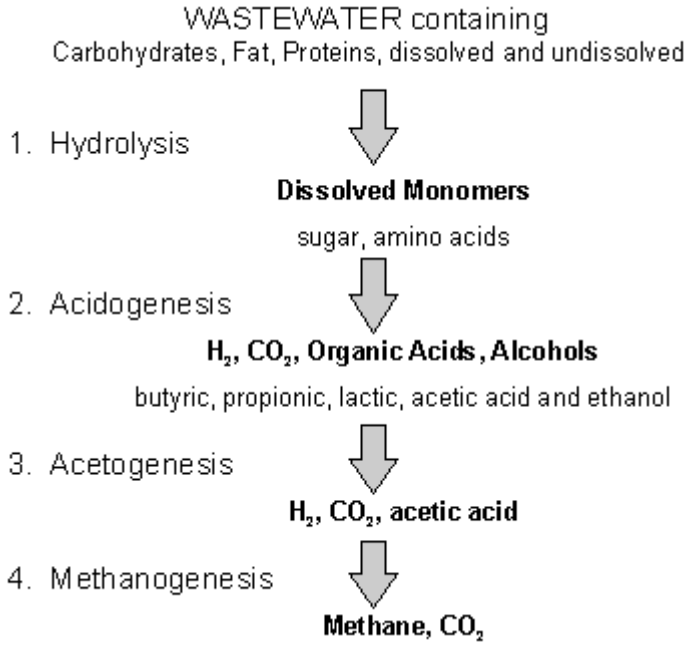
6.1 Anaerobik İşlem Tanımı

Organik madde miktarının azaltıldığı ve biyo-enerjinin (başlıca metan ve karbondioksitten oluşan) üretildiği fermantasyon işlemine anaerobik sindirim adı verilmektedir. Anaerobik sindirim işlemi organik maddenin mevcut olduğu ve redoks potansiyelinin düşük olduğu (oksijen oranı 0) birçok yerde görülebilir. Bu tipik olarak, geviş getiren hayvanların midelerinde, bataklıklarda, göl tortularında, hendeklerde belediye kara dolgularında ve hatta belediye kanalizasyonlarında gerçekleşen durumdur.

Anaerobik ekosistem, farklı organizmaların kompleks etkileşimlerinin bir sonucudur. Aşağıda bazı bakteri türleri ve bunların yol açtıkları reaksiyonlar verilmiştir:

- Fermantasyon bakterileri
- Hidrojen üreten asetogenik bakteriler
- Hidrojen tüketen asetogenik bakteriler
- Karbondioksit azaltan metanojenler
- Asetiklastik metanojenler

Neden oldukları reaksiyonlar şekil 10'da gösterilmiştir. Organik maddenin anaerobik ayrışım yolu bir dizi işlem ve paralel reaksiyonlar izler. Bu organik ayrışım, birbirini ardınca oluşan 4 ayrı evrede gerçekleşir. Bunlar: Hidroliz, Asidojenleştirme, Asetojenleştirme ve Metanojenleştirmedir.



Şekil 10: Anaerobik mikrobiyoloji

(Wastewater containing Carbonhydrates, Fat, Proteins, dissolved and dissolved: Çözünmüş/çözünmemiş Karbonhidrat, Katı yağ, Protein içeren atık su - Hydrolysis: Hidroliz - Dissolved Monomers: Çözünen moleküller - Organic acids, Alchohols: Organik asitler, Alkoller - Acetic acid: Asetik asit - Methane: Metan)

6.2 Anaerobik İşlem Teknolojisi

Anaerobik atık su işleme yönteminin en büyük başarısı, içerisinde biyolojik kitlenin ve sıvı alıkonulmasının ayrılmamış olduğu yüksek oranlı reaktörlerin başlangıcını oluşturmuş olmasıdır. Anaerobik yüksek oranlı sistemler nispeten yüksek yükleme oranının uygulanmasına olanak tanır. Kanalizasyonların işlenmesi için uygulanan yüksek oranlı anaerobik sistemlerin avantajları ve dezavantajları şekil 4'te gösterilmiştir. Bu sistemlerde atık su, arıtılmanın kompleks biyo-fiziksel-kimyasal bağlantılı işlemlerle gerçekleştiği anaerobik tortul atıklardan akar. Organik madde biyo-enerji ve tortul atığa dönüşür.

Tablo 4: Yüksek oranlı anaerobik sistemlerdeki anaerobik kanalizasyon işlemlerinin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Havalandırma için enerji gerekmediğinden işletim maliyetinde önemli oranda tasarruf; Tam tersine metan gazı formunda açığa çıkan enerjiden ısınma veya elektrik üretmede yaralanılabilir. Bu işlem yüksek hidrolik ve organik yükleri idare edebilir. Bu nedenle uygulanan teknolojiler özlüdür. Teknolojiler yapım ve işletim itibariyle basit olduğundan düşük maliyetlidir. Sistem her yerde ve her ölçekte uygulanabilir ve şayet enerjiye ihtiyaç varsa dağıtılmış uygulamaya olanak tanır. Tortul atık üretim miktarı düşüktür, kontrol altında tutulabilir ve suyu kolayca giderilebilir; böylece, maliyeti düşüktür. Değerli besin maddeleri (N ve P) korunur ve bu ürünlerin sulanmasında oldukça yaralıdır.	Atık su standartlarına bağlı olarak, daha sonraki bir işleme ihtiyaç duyulması Düşük / normal ısıda tam ölçekli uygulamalarla ilgili hiçbir deneyimin olmayışı Büyük miktarda biyo enerji üretimi, CH_4 ve H_2S atık suda özellikle de fazla sert olmayan suda (kanalizasyon suyu) kalır. Anaerobik kanalizasyon işleme yönteminde açığa çıkan CH_4 genellikle enerji üretiminde kullanılmaz.

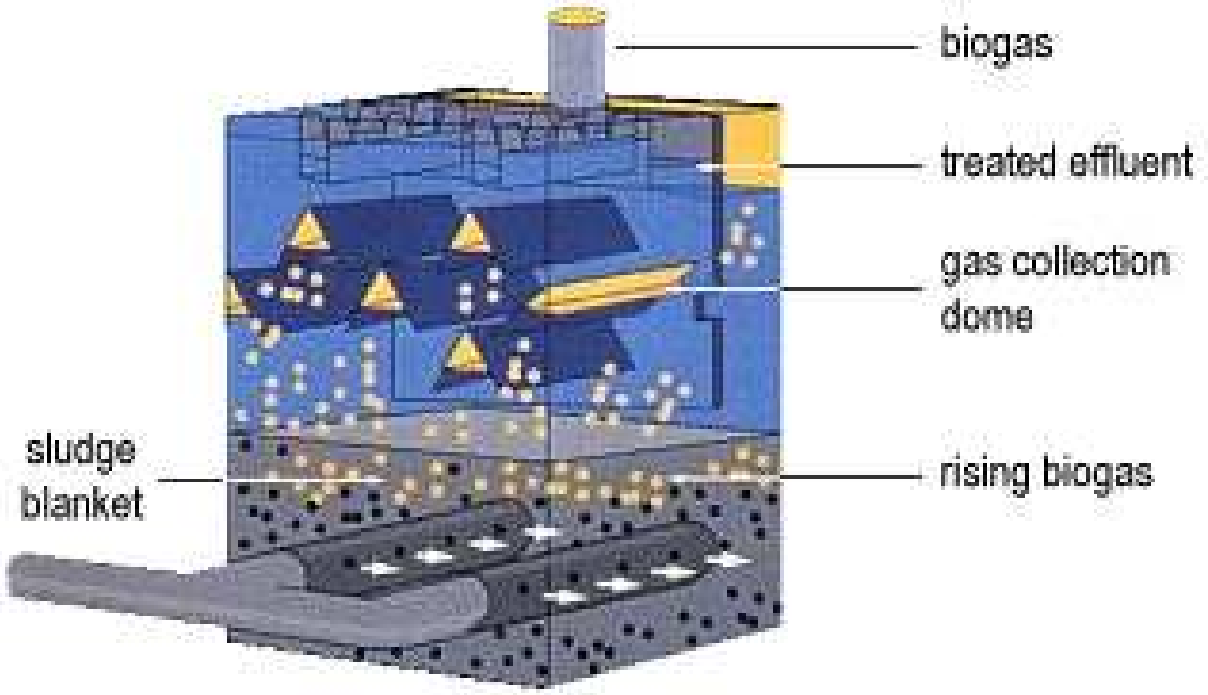
Son 30 yılda anaerobik fitre, tortul atık örtüsü (UASB), sıvılaştırılmış ve genişletilmiş yatak reaktörleri ve engelleyici reaktörler de dahil olmak üzere farklı yüksek oranlı sistemler geliştirilmiştir.

6.2.1 Anaerobik tortul atık örtü (UASB) reaktörü

UASB reaktörü, farklı atık su türlerini işlemede en geniş çapta ve başarıyla uygulanan yüksek oranlı bir anaerobik teknolojidir. Başarısı etkili katı maddeler ve tortul atık konsantrasyonlarını tutabilmesine, sıvı ve su evrelerini ayırabilme kapasitesine bağlanabilir.

UASB reaktörleri, reaktörün hemen hemen yarısını kaplayan ve yüksek oranda çökeltilebilen tanecik ve kitlelerden oluşan, atıkların (su veya tortul atık) anaerobik tortul atık yatağından yukarı doğru bir yol izlediği, dairesel veya dikdörtgensel su tanklarından oluşur. Bu sıvının geçişi sırasında katı maddelerin ayrıştırılması ile arıtılma gerçekleşir ve daha sonra organik madde biyo-enerji ve tortul atığa dönüşür. Su ve katı madde parçacıkları (örneğin biyolojik tortul atık ve artık katılar) taşıyan üretilmiş biyo-enerjiye ait kabarcıklar, reaktörün üst kısmına gönderilir. Kabarcıklar, reaktörün üst kısmında bulunan gaz alıcı levhaya çarpar ve burada etkili biçimde gaz ve katı olarak ayrıştırılır

(GSS). Açığa çıkan gaz, reaktörün üzerindeki ters koni tarafından tutulurken katı parçacıklar yeniden tortul atık örtüsüne düşer.

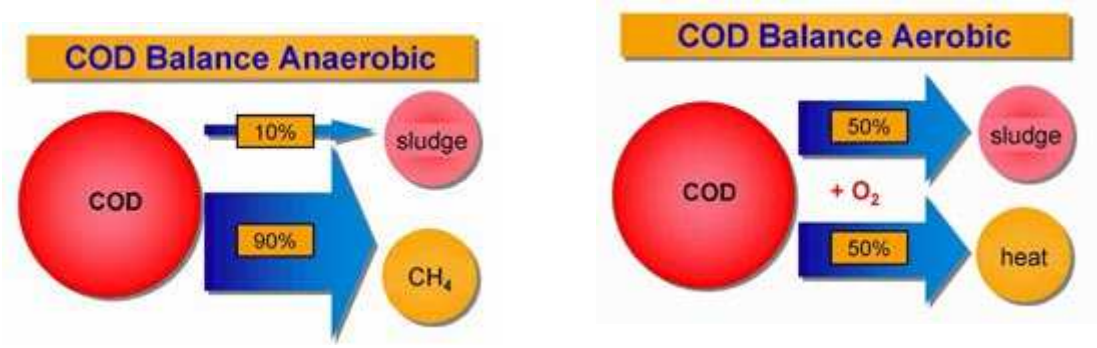


Şekil 11: UASB Reaktörünün Şematik Diyagramı
(*Biogas:* Biyo-enerji - *Sludge blanket:* Tortul atık örtüsü - *Treated effluent:* İşlenmiş atık su - *Gas collection dome:* Enerji biriktirme kubbesi - *Rising biogas:* Yükselen biyo-enerji)

Su, katı parçacıklar taşıyarak gaz alıcı levhaların arasından geçer ve kesit alandaki artıştan dolayı oraya yerleşir ve tekrar tortul atık örtüsüne döner ancak yerleşen maddeleri taşkın su bendinde bırakır. UASB reaktörünün şematik bir diyagramı şekil 11'de gösterilmiştir.

6.3 Anaerobik Olan ve Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Atık su mühendislik alanında, organik kirlenme kimyasal oksitlenme için gereken oksijen miktarı ile ölçülür ve bu "kimyasal oksijen gerekliliği" (COD) olarak tanımlanır. COD, kısaca organik madde doygunluğu veya konsantrasyonunun bir ölçütüdür. Anaerobik atık su işleme yönteminin değerini anlamanın en iyi yolu COD dengesini aerobik atık su işleme yöntemindeki COD dengesi ile karşılaştırmaktır (Şekil 12'de gösterildiği gibi).



Şekil 12. Organik kirlilik içeren atık suyun anaerobik ve aerobik işlenme yönteminde COD dengesini karşılaştırma

(*COD Balance Anaerobic:* Anaerobik COD Dengesi - *COD Balance Aerobic:* Aerobik COD Dengesi - *Sludge:* Atık su - *Heat:* Isı)

Anaerobik işlem sırasında atık su içerisindeki COD yüksek derecede önemli bir yakıt olan metan gazına dönüşür. Çok az miktarda COD tortul atığa dönüşür. Sistemi çalıştırmak için ek bir girdiye gerek yoktur ancak sabit önkoşullara ihtiyaç vardır. Mesela işlemi sabit kılmak için ısı derecesi önemli bir etkendir.

Aerobik işlem sırasındaki atık sudaki COD miktarı büyük oranda hacimli atık bir ürüne , tortul atığa dönüşür. Bunu ortadan kaldırmak gelişmiş ülkelerde yüksek bedellere mal olur ancak eğer tortul atık kirlenmemiş ise, halen gelişmekte olan ülkelerde düşük maliyetli gübre olarak ilgi görebilir. Atık suyu havalandırma yöntemi ile sürekli olarak saf oksijen temin edilmelidir.

7. Atık Su İşleme için Kurulan Su Havzaları (B4)

İnşa edilmiş su havzaları, sığ gölet veya kanallardan oluşan, suyun mevcut olduğu arazilere kurulan ve atık suyu işlemek için doğal, biyolojik, fiziksel ve kimyasal işlemlere bel bağlayan yapay atık su işleme sistemleridir. Akış yönünü kontrol edebilmek için su geçirmez balçıktan oluşmuş olup sentetik astarlara ve planlanmış yapılara sahiptir. Bu, dağınık yerleşimler söz konusu olduğunda geleceği en parlak işleme opsiyonlarından biridir ve özellikle kırsal ve banliyö alanlarında maliyelerinin düşük ve bakımının kolay olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu sistemde teknik yoğun işleme yöntemine oranla daha çok, ama gölet sistemine göre daha az alana gereksinim vardır.

İnşa edilen su havzaları hidrolik sistemine göre iki ayrı sistem olarak, serbest su yüzeyi (FWS) ve yeraltı akıntılı (SF) olarak kurulabilir. İkincisi yeniden dikey (VSF) ve yatay (HSF) yeraltı akıntılı olarak kategorize edilebilir. FWS sistemi bir anlamda gelişmekte olan makrofitlerle birleşen gölet sistemine benzerdir. SF sisteminde su, ve gelişmekte

olan mikrofitler ve çakıllardan oluşturulan su havzaları yüzeyinin altında tutulur. HSF'lerde akıntı sürekli olduğundan su havzası içerisinde doygun bir koşul oluşurken VSF'lerde kesintili besleme nedeniyle ortam doygun değildir (Crites ve çalışma arkadaşları, 2000).

Dikkat edilmelidir ki FWS ve SF olarak yapılan su havzaları farklı sistemlerle çalışır çünkü ikincisi suya ait yabanıl hayatı desteklemez. Bazı biyolojik ve kimyasal etkileşimler sadece açık su kolonu içerisinde gerçekleşebilir ve bu yalnızca FWS sisteminde oluşur. Ek olarak, inşa edilen su havzaları, atık su için dizayn edilmemiş ancak yabanıl yaşam habitatı için ayrı bir fonksiyona sahiptir.

İnşa edilen su havzaları doğal ayrışım ve besin alma prensiplerini kullanır ancak yaygın sistemler gibi çalışır. Aşağıda sıralanan avantajlardan dolayı geniş çapta kabul ve ilgi görmektedir (SWAMP 2002):

- Yapım, işletim ve bakımın basit oluşu
- Düşük maliyetli işletim ve bakım(düşük enerji gerekliliği)
- Akıntıdaki dalgalanmaları tolere edebilecek yeterlilik
- Yüksek işleme sabitliği
- Estetik görüntü

İnşa edilen su havzaları çeşitli alanlarda ve çeşitli işleme seviyelerinde kullanılır. Ancak, bu ders özellikle ön işleme tabi tutulmuş belediye atık sularının yeniden işlenmesi için inşa edilen su havzalarının konvansiyonel kullanımı ile ilgilidir. Tipik bir işleme döngüsü, şekil 13'de gösterilmektedir.

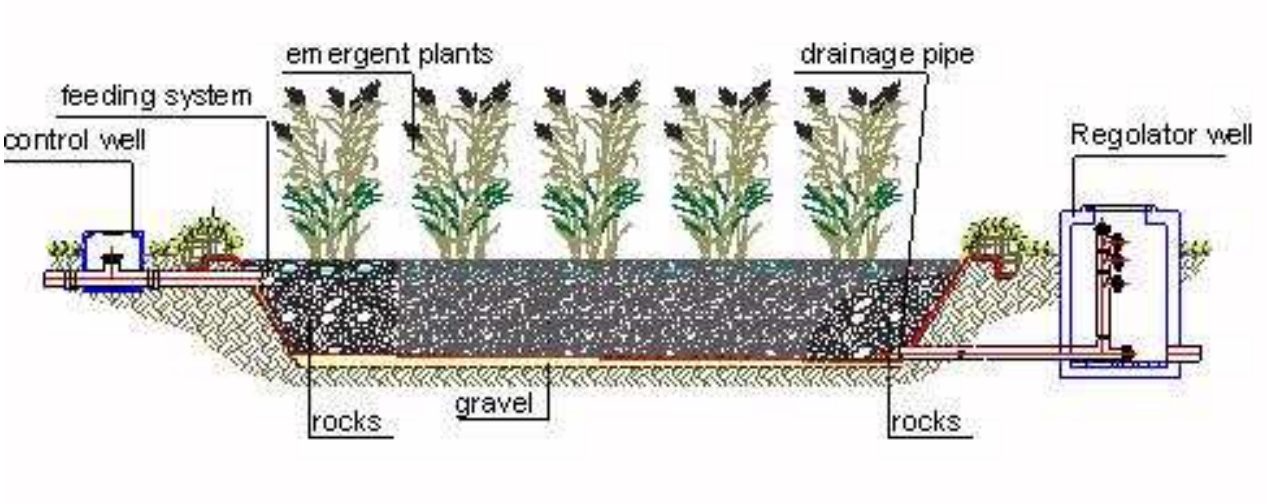
Şekil 13: İşleme döngüsünde inşa edilen su havzaları

(*Raw waste water:* İşlenmemiş atık su - *Primary Treatment:* Birincil İşlem - *Primary Effluent:* Birincil işlem sonrası atık su - *Constructed wetlands:* İnşa edilmiş su havzaları - *Secondary Treatment:* İkincil İşlem - *Secondary Effluent:* İkincil işlem sonrası atık su - *Disinfection:* Dezenfeksiyon - *Tertiary Treatment:* Üçüncül işlem - *Final Discharge:* Son tahliye)

Şayet söz konusu bölgede her iki parametrenin de çıkarılması gerekiyorsa inşa edilen su havzalarının nitrojen (nitratlaşma ve nitratsızlaşma) ve fosforu tamamıyla ayıracak sonraki bir işlemi de gerçekleştiriyor olması gerekmektedir.

Tablo 5: Yeraltı akıntılı olarak kurulan su havzalarında ilgili bileşenler için çıkarma ve dönüştürme mekanizmaları *(Crites ve Tchobanoglous'den sonra değişikliğe uğramış, 1998)*

Bileşen	Mekanizma
Bakterilerle ayrışabilen organikler	Anaerobik bakteriler aracılığıyla, bitki ve döküntü yüzeylerinde biyo-dönüşüm
Durdurulan katı maddeler	Filtreleme ve tortullaşma
Nitrojen	Nitratlaşma/nitratsızlaşma, bitki kavrama, buharlaşma
Fosfor	Filtreleme, tortullaşma ve bitki kavrama
Ağır metaller	Bitki köklerinin ve döküntü yüzeylerinin soğurulması, tortullaşma
Kalıntı organikleri	Soğurma, biyolojik bozunma
Patojenler	Doğal bozulma, fiziksel tuzak, filtreleme, yok etme, tortullaşma, bitki köklerindeki antibiyotiklerin ayrıştırılması



Şekil 14: Yatay akıntılı sistemin (HSF) detaylı şematiği
(*Feeding System:* Besleme sistemi - *Control Well:* Kontrol Kuyusu - *Emergent Plant:* Gelişmekte olan bitkiler - *Drainage Pipe:* Drenaj borusu - *Regulator well:* Regülatör kuyusu - *Rocks:* Kayalar - *Gravel:* Çakıl)

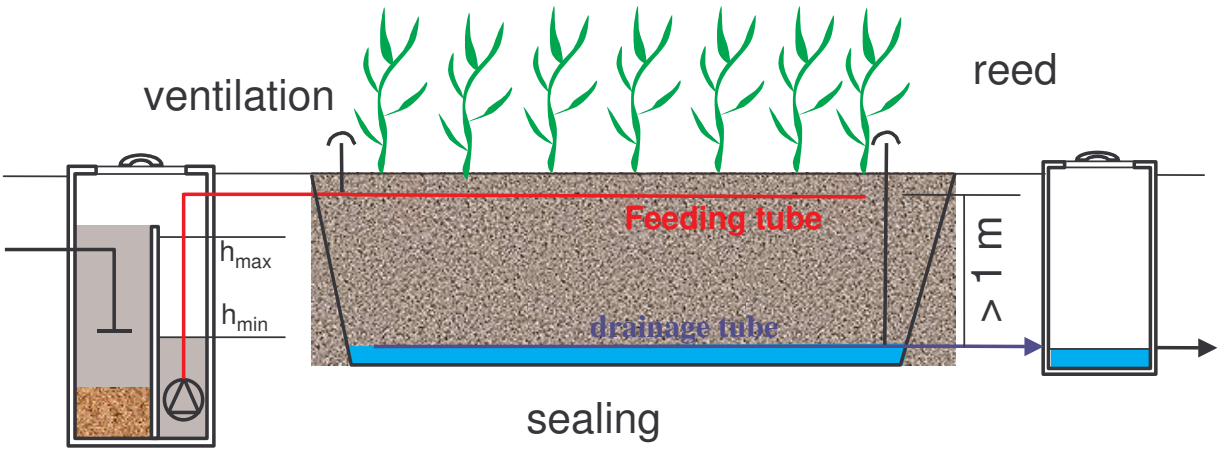
Su havzalarındaki işleme süreçleri farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler içerir. Asıl fiziksel işlem BOD miktarının azalmasına neden olan durdurulmuş, özellikli maddelerin çökertilmesidir. Kimyasal süreç, fosfor ve ağır maddelerin çıkarılmasının asıl nedeni olan soğurma, yakalama ve çökeltmeyi içerir. Biyolojik süreçte, suyun işlenişi mikroorganizmalar ile gerçekleştirilir (Gopal, 1999). Sabit ince tabaka ve serbest bakteri

oluşumu nedeniyle biyolojik süreç organik maddenin bozulmasına, aerobik bölgelerde nitratlaşmaya ve anaerobik bölgelerde nitratsızlaşmaya imkan tanır. Performansları için anahtar parametre mikrobiyolojik aktivitedir. Yeraltı akıntılı olarak kurulan su havzalarında bazı bileşenlerin çıkarılmasını sağlayan mekanizmalar tablo 5'te özetlenmiştir. Şekil 14'de HSF sistemi ile kurulan su havzalarının detaylı şeması gösterilmektedir.

Şekil 15'te resmedilen VSF sisteminin tüm bölgelere suyu eşit olarak dağıtabilmesi için uygun biçimde dizayn edilmiş olması gerekmektedir. Bu nedenle, inşa edilmesi yatay akıntılı sistemlere oranla daha masraflıdır. VSF'lerde filtreleme, önemli bir çıkarma mekanizmasıdır. Su yatağı bölgesi, atık su tüzüğüne göre seçilmelidir.

Su seviyesi daima diptedir. Aerobik ve anoksik evreler değiştiği zaman en iyi performans aralıklı besleme ile gerçekleşir. VF'yi uygun şekilde inşa ve dizayn etmek yüksek efor gerektirdiğinden COD ve nitratlaşma açısından performansı diğer inşa edilen su havzalarına oranla oldukça yüksektir.

Genellikle su havzaları taşkın ovalarının dışına yerleştirilmiş olmalıdır veya taşkından koruyacak bir sistem oluşturulmalıdır (Tchobanoglous ve Burton 1991). Tüm kurulu su havzalarının sağlıklı performansını sağlamak için uygun bir fiziksel ön işleme ihtiyaç vardır. Ön işleme, tanklarda ilk tortullaşma olarak kavranabilir. Küçük çaptaki bitkiler için genellikle septik tankları kullanılmaktadır. Tortul atık oluşumunu engelleyecek Imhoff tankları da bir olasılıktır. Göletler ön-işlem için bir opsiyon olabilir ve genel olarak VSF sisteminden önce kullanılır (SWAMP 2002). Kurulan su havzaları, yeraltı suyu kirliliğini engellemek için dipten iyice yalıtılmış olmalıdır.



Şekil 15: Doymamış dikey akıntılı sistemin (VSF) detaylı şematiği
(*Ventilation:* Havalandırma - *Reed:* Kamış - *Feeding Tube:* Besleme Tüpü - *Drainage Tube:* Drenaj tüpü - *Sealing:* Kaplama)

8. Lağım Tortul Atıklarının İşlenmesi (B5)

Tortul atıkları atık suyun işlenişi sırasında oluşur ve çökeltme veya yüzdürme yöntemi ile işleme sürecinden ayrılır. Kanalizasyon tortul atıkları, mineral ve organik katılar olarak ayrılan su ve katı maddelerden oluşur. Tortul atıklarının miktarı ve özellikleri işleme yöntemine bağlıdır. Atık suya karışan kirletici maddelerin çoğu lağımdaki tortul atıklar tarafından emilir. Bu nedenle lağım tortul atıkları patojenler (ve şayet lağımda endüstri atıkları da mevcut ise ağır metaller, birçok kirletici organik madde, hidrokarbon vb.) içerir. Ancak tortul atıklar nitrojen ve fosfor gibi mineraller açısından zengin olup toprağın erozyona maruz kalması veya tükenmesi durumunda kullanılabilecek yararlı organik maddeler de içerir.

Tortul atıkların işlenişinde sabitleştirme, kalınlaştırma, susuz bırakma ve kurutma yöntemleri kullanılır. Lağım tortul atıkları patojenlerin miktarını azaltmak, rahatsız edici kokulardan arındırmak veya kokuşma potansiyelini elimine edebilmek için sabitleştirilmiştir. Sabitleştirme ayrıca, yoğunluk azaltma, yararlı gazları (metan) üretme ve tortul atıkları sudan arındırabilme niteliğini arttırma amacıyla kullanılır. Kalınlaştırma, susuz bırakma ve kurutma, kanalizasyon atıklarından suyu çıkarmak amacıyla uygulanmaktadır. Susuz bırakma aygıtlarında nemden arıtmak için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Doğala yakın ve çok etkili olan bir yöntem kurulama yataklarında susuz bırakmadır. Bu yöntemin avantajları arasında, düşük maliyet, seyrek bakım ihtiyacı ve özellikle kıraç iklimlerde yüksek oranda katı içerik sayılabilir. Dezavantajları ise geniş bir alana ihtiyaç duyulması, kurulama esnasında iklimsel değişikliklerin etkileri, tortulların çıkarılması esnasında gereken emek yoğunluğu, böcekler ve olası kokulardır.

Atık su tesisindeki katı maddelerin kaynakları tesisin yapısına ve işletim metoduna göre değişiklik gösterir. Genellikle kanalizasyon tortul atıklarının işlenmesinde iki tür kaynak vardır:

- Katı organik maddeden ve minerallerden oluşan ve işleme tesisi içerisindeki çakıl odalarında hapis olmamış katı maddeler
- Organik birikintide gelişen biyolojik küme (BOD)

Lağım tortul atıkları, işleme sürecinden çökeltme veya yüzdürme yoluyla ayıklanır. Birçok durumda, birincil çökeltme ve ikincil çökeltme vardır. Daha küçük işleme tesislerinde genellikle tek bir çökeltme tankı vardır ve tortul atıkların tümü bu tankta ayıklanır.

8.1 Tortul Atıkların Stabilizasyonu

Lağım tortul atıkları patojenleri azaltmak, rahatsız edici kokuları elimine etmek ve kokuşma potansiyelini dizginlemek, azaltmak ve bertaraf etmek amacıyla sabitleştirilir. Bu amaçları gerçekleştirmekteki başarı, organik fraksiyonun azaltılması veya tortul atıklara mikroorganizmaların yaşamasını engelleyecek kimyasalların atılması ile mümkündür. Yukarıda söz edilen sağlık ve estetik nedenlerine ek olarak sabitleştirme, yoğunluğu azaltmak, yararlı gazları (metan) üretmek ve tortul atığın susuz bırakılmasını geliştirmek amacıyla da kullanılır. Bazı durumlarda tarımsal kullanım standartlarını karşılamak amacıyla tortul atıkların dezenfeksiyonu gerekmektedir. Eş zamanlı aerobik sabitleştirme yöntemleri arasında en çok uygulananlar:

- Eş zamanlı aerobik sabitleştirme
- Mezofilik anaerobik sindirme
- Aerobik sindirim
- Alkalin dengeleme
- Termofilik anaerobik sindirim
- Pastörizasyon

8.2 Tortul Atıkların Kalınlaştırılması / Suyunun Atılması

Sıvı haldeki lağımda bulunan tortul atıklardan su çıkarmak 3 ayrı yöntem ile sağlanır:

- kalınlaştırma (yaklaşık %9 TS)
- susuz bırakma (yaklaşık %35 TS)
- kurutma (yaklaşık %100 TS)

Düşük TS oranlarında hacim çeşitlilik gösteren TS içeriğine göre değişir. Şayet TS 1’den %3’e çıkarsa, sonuç hacmi 1/3’tür.

Kalınlaştırma en çok rastlanan yöntemlerden biridir ve konvansiyonel tortullaşma tankına benzer bir dizayndaki tank içerisinde gerçekleştirilir. Normal olarak seyreltilmiş tortul atık merkezi bir besleme kuyusundan beslenir. Besleme tortul atığı çökelmeye bırakılır ve yoğun, kalınlaştırılmış atık dipten çekilir. Dikey çubuklar, tortul atığı yavaşça karıştırır, açığa çıkan suyun akıtılması için kanallar açılır ve böylece yoğunlaşma artar. Sonuçta açığa çıkan akışkan çekilip ya birincil tanka yada gönderilir veya geri-akıntı işlemine tabi tutulur. Kalınlaştırma mekanik araçlarla da gerçekleştirilebilir. Bu araçlara örnek olarak döner silindirler, ağırlık kemer kalınlaştırıcıları verilebilir. %9 oranında katı muhteviyat elde edilebilir. Santrifüjler, kalınlaştırma ve susuz bırakma işlemlerinin her ikisi için de uygundur.

8.3 Su Alma İşlemi

Susuz bırakılan tortul atıkları işlemek kalınlaştırılmış ve sıvı atıklara oranla daha kolaydır. Yok etmenin veya ilave işlemlerin bazı opsiyonları için suyunu alma işlemi gereklidir: tortul atıkları mekanik kurutma, tortul atıkları kompostolama, doldurma, uzak mesafelere taşıma.

Susuz bırakma aygıtları, nemden arıtma amacıyla farklı teknikler kullanmaktadır. Bu tekniklerin bazılarında, katıları susuz bırakma işlemi doğal buharlaşmaya ve süzülmeye dayanır. Mekanik susuz bırakma aygıtlarında mekanik destekli araçlar (filtreleme, sıkıştırma, kılcal etki, santrifüjsel ayırma, kompaktlaştırma, tortul atığın susuz bırakılma işlemini daha çabuk sürede gerçekleştirmek için kullanılır. En önemli mekanik aygıtlar:

- Katı-kase santrifüjü (%25 – 30 TS)
- Kayış- filtre presi (%25 – 30 TS)
- Gömme-plak presi (%30 – 40 TS)

Küçük, kırsal su işleme tesislerinde bu teknikleri uygulamak ekonomik ve ekolojik olarak makul olmayacağından, burada ele alınmayacaktır.

Doğala yakın ve çok etkili olan tekniklerden biri, kurutma yataklarında susuz bırakmadır. Bu tekniğin en belirgin avantajları arasında şunlar sayılabilir: düşük maliyetli oluşu, fazla özen gerektirmemesi, özellikle kurak iklimlerde kurutulmuş üründe tam katı muhteviyat. Dezavantajlarına gelince geniş alana ihtiyaç duyması, iklimsel değişikliklerin kurutma karakteristikleri üzerindeki etkisi, tortul atıkların çıkarılmasında yoğun işçilik, böcekler ve olası kokulardır.

Bu basit tortul atık kurutma yöntemine bir alternatif nemlendirme yataklarıdır. Suyu yeniden kullanma uygulamalarının yanı sıra, kanalizasyon tortul atıklarının yeniden kullanımı toplumsal olarak kabullenilmesi zor bir teknik olabilir.

9. Atık Su Arıtma Tesislerinin İşletim ve Yönetimi (C1)

Bakım ve onarım (O&M) manuelinin amacı, işleme tesislerinin operatörlerine uygun anlayış ve işletim tekniklerini sunabilmek ve tesislerini etkili şekilde kullanabilmeleri ve sürdürebilmeleri için gerekli referansları sağlamaktır.

O&M (Bakım ve onarım) manueli, tesis operatörünün toplama, işleme ve imha sistemlerini uygulanabilir kanunlar ve tüzüklerle uyumlu olarak işletebilmesi ve devam

ettirebilmesi için ihtiyaç duyacağı tüm bilgileri içermektedir. O&M manuelinin onaylanmış bir kopyası işleme tesislerinde sürekli olarak bulundurulmalıdır.

O&M manueli içerisinde şunlar bulunmalıdır:

a) Giriş
b) Ruhsatlar ve standartlar
c) Atık su
d) Tortul atık işleme tesislerinin ayrıntıları, işletimi ve kontrolü
e) Personel
f) Numuneler ve Laboratuar analizleri
g) Kayıtlar ve raporlar
h) Bakım
i) Acil işletim ve yanıt programı
j) Emniyet
k) Yararlar

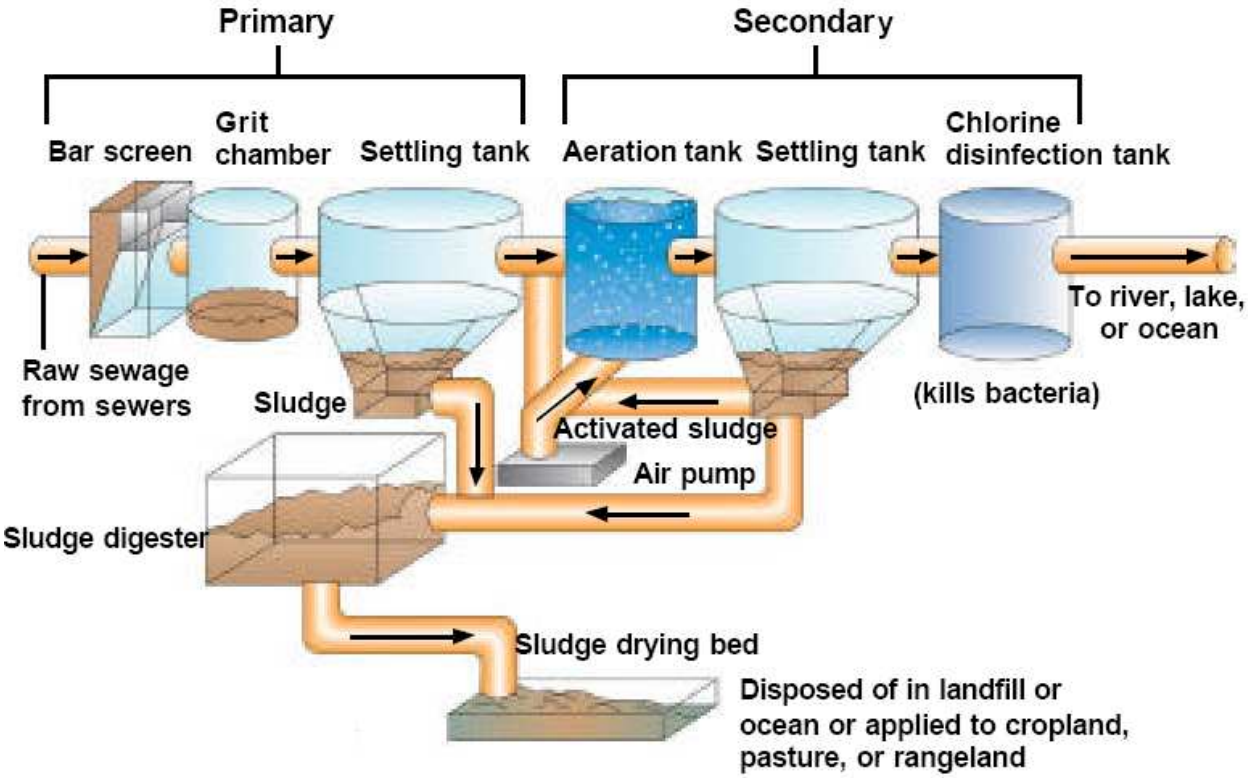
9.1 Atık Su İşleme Tesisi (WWTP)

Atık su veya tortul atık işleme, tortul atıklar veya atık sulardaki kirletici maddelerin çoğunu temizleme ve doğaya zararlı maddelerden arındırılmış atık su ve tortul atık atma işlemidir. Etkili olabilmesi için, tortul atık uygun bir altyapı sistemi ve borularla işleme tesislerine gönderilmeli ve bu işlemin tamamı kurallar ve kontrollere tabi olmalıdır. İşleme yöntemlere oldukça çok ve çeşitlidir. Bu işlemlerin gerçekleştiği şantiyeye Atık Su İşleme Tesisi (WWTP) adı verilmektedir. Konvansiyonel WWTP'nin akış planı (şekil 16'ya bakın) genellikle tüm ülkelerde aynı olup aşağıdaki kimyasal elementlerden oluşur:

- Mekanik işlem;
  - İçeriye akma (etkili)
  - İri nesnelerin çıkarılması
  - Kumun çıkarılması
  - Ön çökeltme

- Biyolojik işlem;
  - Oksidasyon yatağı (oksitleme yatağı) veya havalandırılmış sistemler
  - Sonraki çökeltme
  - Atık madde

- Kimyasal işlem (Bu işlem genellikle katıları ayıklamak için çökelme ve diğer işlemlerle (örneğin filtreleme) birleştirilmiştir.
-



Şekil 16: Atık su işleme tesisi (Queens Üniversitesi, 2004)
(*Primary:* Birincil - *Secondary:* İkincil - *Bar screen:* Çubuklu elek - *Grit Chamber:* Çakıl odası - *Settling Tank:* Çökertme tankı - *Chlorine Disinfection tank:* Klor dezenfeksiyon tankı - *Raw sewege from sewers:* Lağımdan gelen işlenmemiş tortul atık - *Sludge:* Tortul atık - *Aeration tank:* Havalandırma tankı - *Air pump:* Hava pompası - *Sludge digester:* Atık su sindirici - *Sludge drying bed:* Tortul atık kurutma yatağı - *Kills bacteria:* Bakterileri öldürür - *To river, lake or ocean:* Nehir, göl veya okyanusa atılır - *Disposed of in landfill or ocean or applied to cropland, pasture, or rangeland:* Araziye, okyanusa, boşaltılır yada ürün tarlasına, meraya veya boş alana uygulanır)

Fiziksel ve kimyasal sınıflandırmanın yanı sıra teknik sınıflandırma birbiri ardınca uygulanan bir diz adımlarla gerçekleşir:

- **Ön işlem** (Şekil 16'ya bakınız): sıvı yağ, gres, katı yağ, kum, çakıl ve diğer kaba atıkları azaltmak için. Bu işlem genellikle makine ile gerçekleştirilir.
- **İkincil işlem** (Şekil 16'ya bakınız): biyolojik bozunma sistemi içerisindeki çözülmüş içeriği büyük oranda azaltmak amacıyla dizayn edilmiştir. Bu tür sistemler çözülmüş bileşenleri azaltmak için mikroorganizmalardan yararlanır. Bu işlemin son evresinde, kullanılan biyolojik araç temizlenmiş tortul atıktan çok düşük düzeydeki organik madde ve bekletilen madde ile ayrılır.
- **Üçüncül İşlem** veya geliştirilmiş işlem (Şekil 16'da yoktur) henüz geniş çapta kullanım alanına sahip değildir. Alıcı çevreye bırakılmadan önce atık su kalitesini

standart ölçülerle uyumlu şekilde arttırmak için kullanılan son bir evredir. İstenildiği takdirde birden fazla kez üçüncül işlem uygulanabilir. Birçok durumda, nitrojen ve fosforun ayrılması ve dezenfeksiyon için ilave bir süreçtir. İkincil işlemden sonra kullanılıyorsa lagün tekniği ve kurulu su havzalarında işleme de üçüncül işlem sayılabilir.

9.1.1 Eleme / Filtreleme

Atık suyun elenmesi, birincil işleme sürecidir. Elenmiş maddeler, çubuk askılarda ve eleklerde tutulmuş maddelerdir. Elek deliklerinin büyük olması, toplanan elenmiş maddelerin de büyük olması anlamına gelir.

Toplanan elenmiş madde miktarı, elek yapısına ve özellikle de kanalizasyon sistemi ve atık suyun karakteristiklerine göre değişir. Randımanı elek çubuklarının arasındaki açıklığa göre değişir ve özelliklerine göre aşağıdaki isimleri alırlar:

- İnce eleme: delikler < 10 mm
- Orta eleme: delikler 10 - 40 mm
- Kaba eleme: delikler > 40 mm

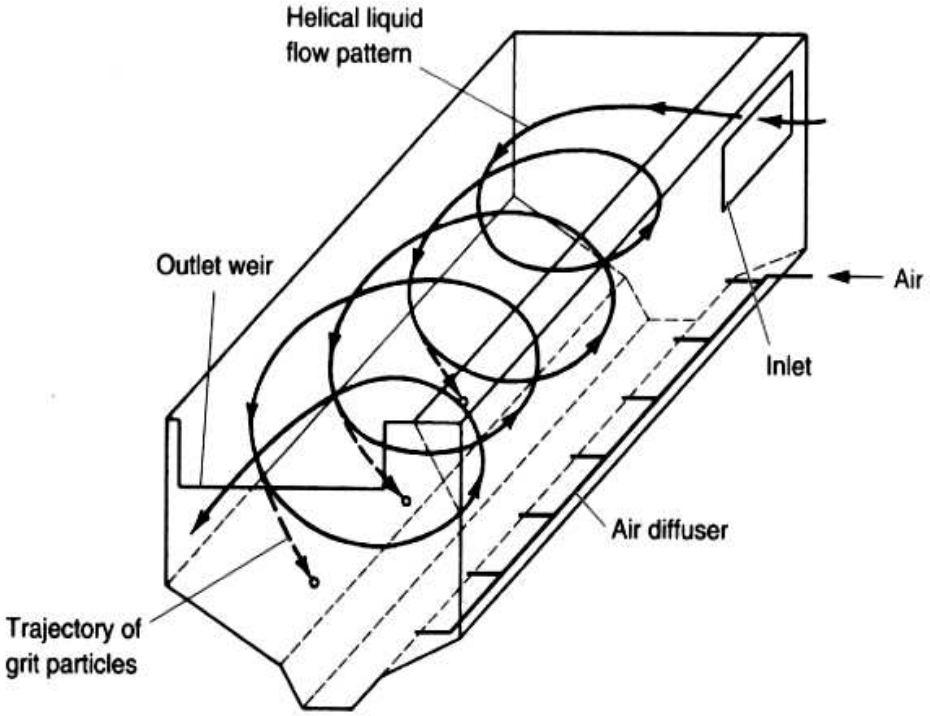
9.1.2 Kum Tanelerinden Arıtma

Kum tanelerinden arıtmanın hedefi çakılların, kumların ve diğer mineral maddelerinin çapının 0.2 ve 0.1 mm'ye düşürülmesidir. (a) Akıntı aşağı hareket eden mekanik ekipmanları aşınmadan korumak (b) Boru hattında ağır tortuların oluşmasını engellemek ve (c) Yoğun kum yığıntısı nedeniyle kazanın temizlenme sıklığını azaltmak amacıyla Kum taneleri odaları kurulmuştur.

Genel olarak üç çeşit kum tanesi odaları vardır:

1. yatay-akıntılı – dikdörtgensel konfigürasyon
2. yatay-akıntılı – karesel konfigürasyon
3. havalandırmalı; (şekil 17'ye bakınız)

Çıkarılan kum tanelerinin miktarı kanalizasyon sisteminin türüne, drenaj alanının karakteristiklerine, vb faktörlere bağlı olarak çeşitlilik arz edecektir. Çıkarılan çakılların miktarı ise tesisten tesise farklılık gösterir.



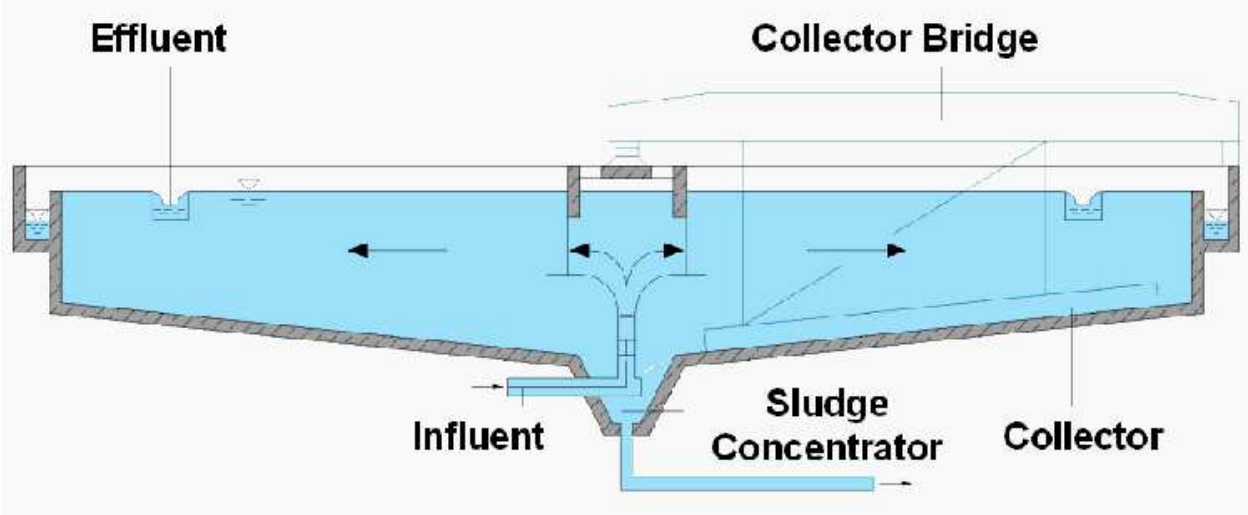
Şekil 17: Havalandırmalı çakıl odaları (Crites ve Tchobanoglous, 1998)
(*Helical Liquid flow pattern:* Helezoni sıvı akış seyri - *Outlet weir:* Çıkış bendi - *Trajectory of grit particles:* Çakıl parçacıklarının yörüngesi - *Air diffuser:* Hava difüzörü - *Inlet:* Giriş - *Air:* Hava)

Şekil 17'de gösterildiği gibi, havalandırmalı çakıl odalarında çakıl, atık suyun spiral bir biçimde akmasıyla ayrıştırılır. Hava, kum tanesi odasının sadece bir tarafından verilerek dikey spiral yönde tanka doğru çabucak akmasına neden olur. Organik hafif parçacıklar bekletilip sonunda tanktan dışarı çıkarılırken ağır parçacıklar hızlandırılır ve tankın dibine çökeltilerek akış hatlarından ayrıştırılır.

9.1.3 Sedimantasyon (Tortullaşma)

Tortullaşmanın asıl amacı kolayca çökeltilebilecek katıların ve yüzen maddelerin (yukarı akım işleminde çıkarılmamış olanların) çıkarılması böylece de bekletilen katı içeriklerin azaltılmasıdır. Tortullaşma teknesinde kolay koşullar hazırlanmıştır. Toplanan katılar sonradan tortul atık işleme ünitesine gönderilir ve (ikincil bir tortullaşma işlemi sonrasında) kısmen geri dönüşüme tabi tutulur.

Tortullaşma işlemi, beton veya demirden yapılmış, tortul atığın geri alma aygıtlarına doğru nakledildiği bölgeye doğru tabandan hafif eğimli, dairesel veya dikdörtgensel tortu tanklarında gerçekleşir (Şekil 18'e bakınız).



Şekil 18: Dairesel tortullaşma tankının bir örneği (Kaynak: Stuttgart Üniversitesi)
(*Effluent:* Atık su - *Collector Bridge:* Kolektör Köprüsü - *Influent:* Etki - *Sludge Concentrator:* Atık su toplayıcı - *Collector:* Kolektör)

Tortullaşma tankları sürekli olarak çalışmak üzere tasarlanmıştır. Birincil tortullaşma tankları atık suyun önemli oranda işlenmesini sağlamış olur veya sonraki işlemler için sadece bir ön işlemdir. Atık suyun işlenişinde tek bir araç olarak kullanıyorsa (genellikle buna gelişmiş ülkelerde izin verilmez), yüzey maddelerin çoğunun ve çökeltilebilir katıların çıkarılmasını sağlar. Biyolojik işlem öncesinde kullanıldığında amaç biyolojik ünite üzerindeki yükü azaltmaktır. Verimli dizayn edilen ve çalışan birincil sedimantasyon tankları tutulan katıların %50 ve %65'ini ve biyokimyasal oksijen gerekliliğinin %25 ve %40'ını çıkarmalıdır.

9.1.4 Aktif Tortul Atıkları

Aktif tortul atıkların işlenmesi, kapladığı alanın, kurulacak havalandırma aygıtına göre belirlenmesi gereken havalandırma tanklarında (aktif tortul atık tankları) gerçekleşir. Aktif tortul atık işleme yönteminde, atık su içerisindeki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından beslenmesi ile atık suyun arıtılması sağlanır. Tüm aktif tortul atıkları işleme yöntemi, mikroorganizmaların bu atık sular içerisindeki çözünmüş organik maddeler ile büyümesi prensibine dayanır. Birlikte kümeleşen parçacıkları oluştururlar. Bu parçacıklar (kümeler) çoğu durumda çökelebilir ve basit bir işlem ile ayrıştırılabilir. Atık su sağlama sistemi, son sedimantasyondan alınan yüksek orandaki organizmalar içeren aktif tortul atıklar ile karışır (şekil 16'ya bakınız). Bu karışım, büyük miktardaki hava ile karışır, amaç, yaşayan organizmaların oksijen ihtiyacını temin etmek ve böylelikle atık su içerisindeki katıların süspansiyon halinde kalmasını sağlamaktır. Kısa bir sure sonra, karışık çözelti, çoğu zaman tortu tankı olan arıtıcıya doğru akar. Özel durumlarda, mikroorganizmaları ayırmak için yüzdürme tankları veya membranlar kullanılır. Kısmen temizlenmiş olan su sonraki arıtım için akmaya devam eder. Çökelen

katılar, aktif tortul atıklar, işlemi yeniden başlatmak üzere birinci tanka dönerler. İşlem sırasında mikroorganizmaların büyüdüğü gerçeğini göz önünde bulundurursak aşırı miktarda olan tortul atıklar çıkarılma ki mikroorganizmaların yoğunluğu hemen hemen sabitlenebilsin.

Aktif tortul atık işlemini karakterize eden parametreler:

- HRT, Havalandırma tankı içerisindeki hidrolik tutma süresi
- Karışık çözelti içindeki TSS
- Biyolojik kalıntılar olan Organik yük
- Hacimsel Organik Yük
- SRT, Tortul Atık Tutma Süresi
- Geri dönüşüm oranı
- Tank içerisindeki akış türü (tamamen karıştırılmış veya tıkaçlı)
- Havalandırma Sistemi

9.1.5 Anaerobik İşleme

Aktif tortul atıkların işlenmesi, kapladığı alanın, kurulacak havalandırma aygıtına göre belirlenmesi gereken havalandırma tanklarında (aktif tortul atık tankları) gerçekleşir. Atık suyun miktarı ve ısısı anaerobik işlemin uygulanabilirliğini etkiler. Genellikle 1550–2000 g m^{-3} ‘den yüksek olan COD konsantrasyonları ve 25-35° aralığındaki ısı aralığı gerekmektedir. Bu konuya ilişkin daha fazla bilgi bölüm 6’da verilmiştir.

9.1.6 Lagünler

Askıya alınmış büyüme lagünleri sığ ve topraktan olup derinlikleri 1-6m arasındadır.
Havalandırmalı lagünlerin derinlikleri ise 1.8 – 6 m arasındadır ve karıştırma ve havalandırma düşük hızda olan ve şamandıralar üzerine monte edilen yüzey havalandırıcıları ile gerçekleştirilir. Çevresel koşullara bağlı olarak, havalandırılmamış lagünler aerobik, opsiyonel ve anaerobik lagünler olarak sınıflandırılırlar. Biyolojik dönüştürme aerobik ve/veya anaerobik koşullarda gerçekleştirilir. Aerobik lagünlerin derinlikleri yeterli oksijen konsantrasyonları sağlayabilmek amacıyla genellikle 1 -1.5 arasında değişmektedir. Opsiyonel lagünlerde 3 farklı alan göze çarpar: Yüzeysel aerobik alan, anaerobik taban alanı (burada çökelebilen katılar bulunur) ve biyolojik işlemlerin içerisindeki opsiyonel bakteriler vasıtasıyla gerçekleştiği opsiyonel alan. Anaerobik lagünler diğerlerinden daha derindir ve asıl biyolojik değişim aslında anaerobiktir.

10. Atık Su Arıtma Tesislerinin İşletme Maliyetleri (C2)

Atık su işleme tesislerinin kurulmasının ve işletilmesinin amacı çevresel olarak uygun, sınır değerleri karşılayan, kaliteli su üretmektir. Konvansiyonel sistemlerde yapım, onarım ve işletim için gereken yüksek maliyet gelişmiş ülkelerde bile önemli ekonomik (ve sosyal) baskıya neden olur. Bu nedenle dünya çapındaki mühendisler, su kirliliğini kontrol altına alabilmek amacıyla yaratıcı, maliyet etkinliği olan ve çevresel anlamda güvenilir alternatif yollar aramaktadırlar. İşletim maliyetleri arasına, personel maliyeti, bakım maliyeti, enerji maliyeti, kimyasal ve materyal maliyeti, imha maliyeti ve idari maliyetler, sigorta, boşaltma vergisi (şayet varsa) gibi harici birçok harcama girer. Atık su işletim sistemi ve personel maliyeti tesisin büyüklüğüne, seçilen teknolojiye, göre değişir. Genel olarak atık su işletim sisteminin bakımı toplam işletim maliyetinin %15-25'ini oluşturur. Bu nedenle, bakım aktivitelerinin organizasyonu ve stratejisi acente için önemlidir. Bakım masrafları: mekanik, elektrik, elektronik ve parçalar ve küçük ve büyük çaplı parçaların (pompalar, vantilatörler, ve motorların) değiştirilmesini kapsar. Ayrıca dahili personel maliyetleri, materyal maliyetleri ve dışsal hizmetleri de içerir. Stokta bulundurulan yedek parka miktarı ve satın alma koşulları da toplam maliyeti etkiler. Enerji sarfiyatı diğer bir önemli maliyeti beraberinde getirdiğinden seçilecek atık su arıtma teknolojisi oldukça önemli bir parametredir. Genel olarak enerji tüketimi toplam işletim maliyetinin %10-30'unu oluşturur. Enerji tüketiminin içerisine elektrik, gaz, petrol ve doğal ısıtma girer. Kanalizasyon toplama sistemlerinde yeterli hidrolik eğimin olmaması durumunda pompalama istasyonları tarafından nakil amaçlı olarak kullanılabilir. İmha maliyeti işletim maliyetinin %15-50'sini oluşturabilir. Kimyasallar ve materyaller için ek maliyetler toplam işletim maliyetinin %5-7 aralığında olabilir.

11. Atık Suların Yeniden Kullanımına İlişkin Yönergeler ve Standartlar (D1)

Yeniden kullanılan atık suyun halk ve çevre sağlığını olumsuz etkilememesi için çeşitli tedbirler alınmalıdır. Bu amaçla, dünyanın tüm bölgelerine uyacak, güçlü yönergeler ve kurallar oluşturulmuştur. Bu sınırlandıran faktörler arasında işletim teknolojileri ile birlikte bölgelerin yerel koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Hemen hemen tüm atık suyu yeniden kullanım yönergeleri ve kuralları bakteriyolojik tabanlıdır. Bazıları biyokimyasal parametreleri kullanır. Bu tür yönergeler için standartlar: yerel koşullara göre gerçekçi (salgın hastalık etkenleri, sosyo-kültürel ve çevresel faktörler), maliyetleri karşılanabilir ve uygulanabilir olmalıdır.

Atık suların biyolojik ve kimyasal yükleriyle ilgili standartlara ek olarak kurallar, atık su işletimi ve sulama teknikleri (sulanan alan ve ürünler de hesaba katılarak) için en iyi uygulamaları içerebilir.

11.1 Belirleyici Yönergelere İlişkin Uluslararası Deneyimler

Söz konusu alanlardaki her bir proje için uluslararası standartlar hakkında bilgilenme, yönergeler geliştirmek konusunda yardımcı olabilir. Birçok ülkede sadece bölgesel standartlar mevcuttur. Avrupa'da az sayıda ülke atık suyu ıslah etme ve yeniden kullanmaya ilişkin yönergeler ve kurallara ihtiyaç duymaktadır. Bunun birinci nedeni genellikle suyu yeniden kullanmamaları ve nehirlerinin yeterince seyreltme faktörüne sahip olmasıdır.

Gelişmekte olan birçok ülke kanunlarındaki kısıtlamalar üzerinde odaklanır. Mesela çoğunlukla bu kanunlar çiğ olarak tüketilen sebzelerin veya genel olarak yenebilen bitkilerin sulanmasında atık suyun kullanımını yasaklamakta ve sulama ve ürün hasadı arasında minimum bir zaman aralığı talep etmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) atık su kullanım potansiyelini ve risklerini fark etmiş ve bu amaçla atık suyun güvenli şekilde kullanımına ilişkin yönergeler geliştirmişlerdir. 1989'da hazırlanan yönergelerde WHO, daha önceleri bu konuyla ilgili belirlenen standartların, halkın sağlığını koruma anlamında gereğinden fazla yüksek standartlar olduğunu belirtmiş ve atık suyun topraktaki kullanımına pek değinmemiştir. Ancak bu sıralar WHO, atık suyun yeniden kullanım yönergelerine yeni revizyonlar eklemektedir.

Genellikle insan ve halk sağlığı üzerinde odaklanan WHO yönergelerine zıt olarak, FAO suyun sulama için elverişliliğini değerlendirecek yeni bir alan geliştirmiştir. Verilen yönerge değerleri suyun kullanımıyla ilgili kısıtlamalardaki potansiyel problemlere değinmiştir: 1) tuz miktarı 2) Topraktaki suyun filtreleme oranı 3) Spesifik iyon toksikliği 4) diğer bazı etkiler. Yönerge, çiftlik ve proje yöneticilerine, danışmanlara ve mühendislere suyun kalitesiyle ilgili problemlere ilişkin rehberlik sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Meksika'da, atık suyun tarımsal alanda kullanımına ilişkin mikrobiyolojik ve kimyasal standartlar son 15 yılda dikkat çekici ölçüde ilerlemiştir. Mevcut yönergeler 1991, 1993 ve 1996 yıllarında gözden geçirilmiştir. 1) Çiğ olarak yenen sebze ve diğer bitkilerin ekilmesine, 2) Tarımda atık suyun bir işleme süreci ve imha yöntemi olarak kullanılması ve 3) Yönergeleri uygulayabilmek için mevcut olan işlemlerin çeşitliliğine özel dikkat verilmiştir.

11.2 Belirleyici Yönergelere İlişkin Bölgesel Deneyimler

Akdeniz Bölgesinin birçok ülkesinde, atık su planlanan ve planlanmayan birçok sistemde farklı miktarlarda kullanılmaktadır. Ancak, sadece birkaç Akdeniz ülkesi (Kıbrıs, Ürdün ve Tunus gibi) su kaynakları planlarında suyun yeniden kullanımına yer vermiş ve bununla ilgi resmi politikalar geliştirmişlerdir. Atık suyun kullanımına ilişkin yasal standartlar yalnızca Ürdün ve Türkiye'de benimsenmiştir. Filistin su otoriteleri atık suyun kullanımıyla ilgili yönergeler geliştirmiş ancak bunları zorunlu kılmamıştır. Lübnan'da bu konuyla ilgi yönergeler geliştirilmemiş ancak gelecekte yapılması planlanmaktadır. Bu ertelemenin neden, Lübnan'ın diğer Orta Doğu Akdeniz ülkeleri gibi su kıtlığı çekmiyor olması ile açıklanabilir.

Atık su ile sulama Tunus'ta epey gelişmiştir. Tunus devleti, suyun tarımsal alanda kullanılmasını stratejik bir amaç olarak takip etmekte ve bu amacı şematik uygulamaya dökmektedir. Atık suyun yeniden kullanım planına '80'li yıllarda başlanmıştır.

Türkiye'de suyun yeniden kullanımı konusu resmi olarak 1991 yılında çevre bakanlığı tarafından kanunlaştırılmıştır. İşlenen suyun sulama amacıyla kullanılması için "Su Kirliliği Kontrol Kuralları" uyarınca, ilgili devlet makamlarından yazılı bir izin alınmalıdır. Devlet Su Organizasyonu, İller Bankası, Tarım ve Çevre Bakanlığı ve Orman bakanlığından oluşan bir komisyon suyun sulamada kullanılıp kullanılamayacağına dair kararlar alır. Türk Su Kirliliği Kontrol Kuralları'na göre atık suyun sulama amaçlı kalitesi genel anlamda Who'nun, bağırsaklara ait nematodlar ve artık klor için koyduğu sınırlar haricinde belirlemiş olduğu standartlara göre belirlenir.

Ürdün suyun yeniden kullanım yönetim planının asıl amaçları, uygun olan yerlerde ıslah edilmiş suyun mevcut ve gelecekte temiz suyun yerine kullanılması ve ıslah edilen su kaynakları hasılatını maksimum noktaya getirmek yönündedir. Bu yüzden Ürdün Hükümeti, tüm yeni atık su işleme projelerinin uygulanabilir yeniden kullanımın özelliğini taşımasını ve işlenen evsel suyla ilgili standartlar belirlemesini şart koşmaktadır. (2002 yılında revize edilen Ürdün Standartları JS 893/1995). Atık suyun kullanımına ilişkin Ürdün standartları ürünlere ve sulanacak alanların özelliklilerine bağlıdır. Standart, genellikle pişirilmeden tüketilen sebzelerin sulanmasında ıslah edilmiş su kullanımı yasaklamaktadır. Ayrıca Golf sahalarının dışındaki tüm sulamalarda yağmurlama yöntemi ile sulamayı da yasaklamaktadır.

Komşu ülkelerde ıslah edilmiş atık suyun tarımsal alanda kullanımı her ne kadar su kullanımında yeni yönetim stratejisi olarak git gide daha çok kabul görmekteyse de bu uygulama Gaza bölgesinde hala resmileşmemiştir. Şu anda Gaza'da mevcut olanların yerine kurulması için konuyu destekleyen ülkelerin ortaya koyduğu, 2020 yılına kadar bitmesi hedeflenen 3 yeni WWTP vardır. Bu tesislerde üretilen ıslah edilmiş atık suyun

çoğunluğu sulamada kullanım için uygun olacaktır. Atık suyla ilgili çevresel sınır değerler Filistin standart enstitüsü ve Filistin Su Otoritesi tarafından hazırlanmıştır. Ancak bu sınır değerlerin kullanımı henüz zorunlu kılınmamıştır.

Akdeniz Ülkelerinde suyun yeniden kullanımına dair genel yönergeler Bahri ve Brissaud tarafından hazırlanmıştır (bakınız Kamizoulis 2003). Bu yönergeler UNEP/WHO projeleri ile desteklenmiş ve farklı toplantılarda sunumu yapılmıştır. Bunların dayandırıldığı ilkeler a) Avrupa ve diğer Akdeniz ülkeleri ile bağlantılı olarak yapılan tarımsal ithalat ve ihracatlar artarken Akdeniz marketi git gide çeşitli tarımsal ürünlerle (sebzeler ve meyveler vb) büyümektedir b) Turizm, bölgenin en önemli ekonomik aktivitelerinden birini oluşturur; bu gelişimler uzun vadede, atık suyu ile bağlantılı hayati tehlikeleri beraberinde getirebilir c) Tüketicilerin gıda kalitesi ve sağlık tehditleri ile artmakta olan kaygıları vardır d) Çiftçiler arası adil olmayan rekabetlere meydan vermemelidir. Bu yönergeler, WHO'nun Blumenthal ve çalışma arkadaşları aracılığıyla yaptığı (2000) son değerlendirmeler göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Sunulan Akdeniz yönergeleri konuya ilişkin bölgedeki tüm ülkelerin uygulamaya koyması gereken temel ilkeleri içerir. Zengin ülkelerin daha yüksek koruma enstrümanları olabilir. Birçok ülkede atık su işlenişindeki geç kalmış ilerlemelerden ötürü, bu yönergelerin her ülkede eşit zaman ve koşullarda uygulamaya konulması beklenemez. Ancak her ülke mevcut ekipman ve finansal kapasitesini göz önünde bulundurarak, konuya bir an önce eğilmek konusunda kendini sorumlu hissetmelidir.

12. Atık suyun yeniden kullanım teknolojileri (D2)

Atık su kullanımı daima yöntemi halkın kabul etmesi, çevresel konular ve yatırım maliyetleri ile orantılı olarak gelişir. Bu temel gerekliliklerin yerine getirildiğinden emin olunmalıdır. Prosedürün tamamının iyice anlaşıldığından ve açıklandığından emin olunmalıdır. Bu çalışma, atık su kalitesini arttırma (suyun işletim ve imha ihtiyacı), ıslah edilmiş su kullanım piyasasını belirleme ve bu sürecin uygulanması için gerekli yatırım maliyetlerini hesaplama konusunda yardımcı olmalıdır. Aynı zamanda bu çalışma detaylı plan için başlangıç noktasını ve atık suyun kullanımının finansal kapasitesini belirleme konusunda bir anlayış sunmalıdır.

Tablo 6: Atık suyun yeniden kullanım planındaki asıl elementlerin özeti (Asano, 1998)

Planlama Aşaması	Planlama Amacı
Atık su işleme yöntemini ve imha ihtiyaçlarını tespit etmek	Yeniden kullanım için mevcut olan atık su miktarını ve imha etme yollarını değerlendirme
Su teminini ve yeterliliğini tespit etmek	Dominant su çeşitlerini değerlendirme
Yeniden kullanılacak suyun piyasasını belirlemek	Islah edilmiş suyun potansiyel kullanıcılarını ve bağlantılı su miktarını ve kalite gerekliliklerini belirleme
Mühendislik ve ekonomik analizler yapmak	Islah edilmiş suyun potansiyel kullanıcıları için işleme ve dağıtma sisteminin özelliklerini tespit etme
Finansal analizle birlikte gerçekleştirme planı geliştirmek	Projenin uygulanması için stratejiler, finansal opsiyonlar geliştirme

12.1 Temel işleme teknolojilerini gözden geçirme

Atık suyun işlenmesindeki ilk adım genellikle fiziksel olan ön işlemdir. Organik bileşenlerin ve besin madde parçalarının ve mikrobiyolojik kirlenmenin çoğunluğunun azaltıldığı işlem, ilk işlemi takip eden biyolojik işlemdir. Kentsel işleme tesisleri düzeyindeki tüm gelişmiş teknolojilerde yoğun biyolojik işlemlerdir (nitrojen ve organiklerin çıkarılması). Dayandıkları prensip, dar bir alanda olağanüstü şekilde organik ve besin gıda maddelerini çıkarmadır. Bu özellikle yüksek yoğunluklu evsel atık su ve siyah su idaresinde etkili ve uygundur.

Aşağıdaki teknikler yoğun uygulamalara birkaç örnektir: Aktif tortul atık tesisi / sıkıştırıcı yığın reaktörü reaktör (SBR), Damlama filtresi, Döner biyolojik iletkenler, anaerobik işleme sistemleri. Diğer taraftan doğaya yakın olan ve daha az yoğunlukla işlemler kullanan, daha az enerji ama daha çok alan kullanan daha yaygın işleme teknikleri de mevcuttur: İnşa edilmiş su havzaları (toprak filtreli), doğal lagünler, sabit göletler, uzun süren kum filtreleri (ayrıca bölüm 9'a bakınız). Atık su teknikleri ve bunların karakteristikleri tablo 7'de listelenmiştir.

Tablo 7: Atık su teknolojileri ve karakteristikleri (Wendland, 2003)

Teknoloji	**İklim**	**Boş alan gerekliliği**	**Enerji maliyeti**	**Kapital ve işletim maliyetleri**	**İşletim ve bakım için teknolojik bilgi**	**Atık sudaki hijyenik kalite**
Aktif tortul atık tesisi (SBR)	Ilık iklimde uygun biyolojik aktivite, ılık ve kuru iklimde bu-harlaşma	Düşük	Yüksek	Yüksek kapital, düşük işletim ve bakım maliyeti,	Yüksek	10-100 faktörü ile eliminasyon
Damlama filtresi, döner disk	Bağımsız, genellikle eve kurulmuş	Düşük	orta	Yüksek kapital, işletim ve bakım maliyeti	orta	10-100 faktörü ile eliminasyon
Anaerobik reaktör	Buharlaşma problemi yok, ılıklık arttıkça biyolojik aktivite artmakta	orta	Enerji dönüşü	Yüksek kapital maliyeti, ancak biyo-enerji dönüşümü	yüksek	10-100 faktörü ile eliminasyon
İnşa edilmiş su havzası	Buharlaşma tesis tipine bağlı	yüksek	düşük	Düşük kapital, işletim ve bakım maliyeti	orta	1 kayıt eliminasyon
Lagünler (havalandırmalı yada doğal)	Kuru iklimde yüksek buharlaşma oranı	yüksek	Doğal için düşük, havalandırmalı için orta	Düşük kapital, işletim ve bakım maliyeti	düşük	uzun süreli oturma için > 3 kayıt eliminasyon
Membran reaktörü	Ilık ve kuru iklimde buharlaşma	Çok düşük	Çok yüksek	Yüksek kapital, işletim ve bakım maliyeti	yüksek	Hijyenik olarak güvenli (UF)
Uzun süren kum filtreleri	Ilık ve kuru iklimde buharlaşma	Orta	orta	Düşük kapital, işletim ve bakım maliyeti	orta	Hijyenik olarak hemen hemen güvenli
UV, Klor, Ozon	Binaya ihtiyaç duymakta	düşük	yüksek	Düşük kapital, yüksek işletim ve bakım maliyeti	yüksek	Hijyenik olarak güvenli

12.2 Dezenfeksiyon teknikleri

Birçok ülkenin kuralları tüketici ve çiftçileri korumak amacıyla dezenfeksiyon gerektirmektedir. Dezenfeksiyonun hedefi, sağlık tehdidini ortadan kaldırmak için mevcut patojenlerin çıkarılması, öldürülmesi yada pasifleştirilmesini sağlamaktır. Bu en azından belediye sularının 4-5 log/kayıt oranında azalması anlamına gelir.

Konvansiyonel biyolojik ve fiziksel atık su işleme teknikleri atık suyu etkili bir biçimde dezenfekte edemez. Bekletilen katılar ve organik yükün ağır olması dezenfeksiyon oranında negatif bir etki yaptığından, dezenfeksiyon öncesinde atık suyun biyolojik olarak işlenmesi önerilmektedir.

Dezenfeksiyon teknikleri genel olarak 2'ye ayrılır. Fiziksel ve kimyasal metotlar. Genel bir bilgi tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8: Birkaç farklı tekniğin dezenfeksiyon yeterliliği *(Jacangelo & Trussell, 2001)*

Dezenfeksiyon Teknolojisi	**Bakteriler**	**Virüsler**	**Tek hücreliler**	**Toplam**
Klor gazı	+++	+++	+/-	++
Kloramin	+	-	--	-
Klordioksit	++/+++	++/+++	+	++
Ozon	+++	+++	++/+++	++/+++
UV	++/+++	+	++	++
Ultrafiltrasyon (<0.01 µm)	+++	+++	+++	+++

+++ çok iyi, ++ iyi, -kötü, --çok kötü

13. Atık Su Yönetiminde ekonomik araçlar(D3)

Su tarifeleri, kirlilik ücretleri gibi ekonomik enstrümanlar suyun etkili ve sürdürülebilir idaresi için önemli teknik, düzenleyici ve kurumsal araçlardır. Ekonomik enstrümanlar genellikle piyasaya dayalı, atık suyun işlenişini finanse edecek, suyu etkili ve dikkatli şekilde kullanım için teşvik edici, kirli atık suyun etik olmayan biçimde salıverilmesini engelleyici, kirliliğe neden olan kişinin yaptığının bedelini ödemeye zorlayıcı ve suyun gereksiz yere kullanımını engelleyici parasal ölçüler kullanır. Atık su yönetiminde en çok kullanılan ekonomik enstrümanlar atık su hizmetlerinin fiyatlandırılması ve çevreye atık su boşaltılmasını vergilendirmedir. Bu derste atık su yönetiminde kullanılan farklı ekonomik enstrümanlar ele alınacaktır. Atık su hizmeti ücretlerinin vergilendirilmesi için kullanılan farklı tarife yapılarına vurgu yapılacaktır. Tarifeler, hizmeti sunanların kullanıcılardan alacakları hizmet bedellerinin miktarını belirler. Farklı amaçlar için dizayn edilmişlerdir ve yoksulluğa değinmek için özel elementler içerirler.

Atik su ve atık su hizmet ücretlerinde ekonomik enstrümanların kullanımın en açık nedeni altyapı hizmetleri için geliri arttırma ve çevresel kirliliğe karşı iyileştirici tedbirler almadır. Sıhhileştirme hizmetlerinin maliyetleri için, kirleten kişi sadece yatırım ve işletim maliyetlerini değil aynı zamanda atık suyu boşaltılmasıyla çevreye verilen tahribattan kaynaklanan masrafları da ödemelidir.

Yukarıda sözü edilen hedeflere ulaşabilme amacıyla atık su yönetiminde farklı ekonomik araçlar kullanılmaktadır. Örneğin::

- Kirlenme ücretleri
- Atık su hizmet bedeli / kullanıcı ücretleri
- Dolaylı yerel vergiler
- Boşaltım izinleri

Atık su ücretlerinin çeşitli amaçlarını dengelemek için farklı tarife sistemleri geliştirilmiştir. Bir tarife, müşterinin toplam su ve atık su faturasını belirleyen prosedür ve element sistemidir. Bu faturanın herhangi bir bölümü ücrettir ve zamana göre (örneği aylık), kullanılan miktara göre veya kirlenme yükü ünitesine göre ölçülür.

Tarifelerin çoğu tüketime bağlı olan elementler ve diğer faktörlerin bir kombinasyonudur. Genellikle bir, kamusal su temin sistemine ve/veya sıhhileştirme sistemine katılan müşteriden bağlantı ücreti alınmaktadır.

13.1 Akdeniz Bölgesinde su fiyatlandırma örnekleri

Suyun evsel ve tarımsal kullanımıyla ilgili su tarifeleri koyma ve toplama yetkisi Lübnan'daki bölgesel otoritelere aittir. Evsel su temininin üyelik ücreti su panoları arasında değişiklik gösterir. 2001 yılında, tarifeler yıllık 1 m^3/gün miktarı için 44 dolar – 153 dolar arasında değişmiştir. Farklılıklar kısmen, suyun mevcudiyet ve dağıtım maliyetleri ile ilgilidir ve yerçekimi ile dağıtım maliyeti en ucuz olan iken, pompalama ile dağıtım çok pahalıdır. Su tarifesinin çok fazla olduğu Beyrut ve Akdeniz bölgesinde su derin kuyulardan pompalanır yada uzun mesafelerden nakledilir. Su tarifesinin en ucuz olduğu Bsharre ve Dinniyeh'te su pınarlarda mevcut olup yerçekimi gücü ile dağıtılmaktadır.

Filistin'de belediyeler ve bölgesel su otoriteleri evsel amaçlı kullanılan suyun tarifelerini hazırlama ve toplamadan sorumludur. Farklı bölgelerde evsel su temin ücreti büyük değişiklikler gösterebilir. Tarifeler US$ 0.15-0.2 'den US$ 1.0-1.2'ye kadar değişebilir. Farklılıklar hizmet düzeyi, su mevcudiyeti, ve dağıtım maliyetlerine göre değişir. Örneğin su tarifelerinin en fazla olduğu Dura ve Ramallah bölgesinde su uzak mesafelerden ve/veya derin kuyulardan pompalanır. Su tarifelerinin en düşük olduğu Qalqiliya ve Jericho'da su sığ kuyularda (Qalqiliya) ve pınarlarda (Jericho) mevcut olup düşük maliyet ile pompalanabilir.

Türkiye'deki sulama bölgelerindeki su kullanımın fiyatlandırılması diğer organizasyonlarınkiyle paraleldir. Sulama bölgelerinde, su fiyatlandırma özellikleri aşağıdaki başlıklar altında toparlanabilir:

1. Sulama mevsiminden önce, o yılın harcamalarının tahmini bir bütçe ile belirlenmesi
2. Proje niteliklerine (her bir organizasyonun sorumluluğu altında) ve bölgenin koşullarına göre belirlenen tarifelerin uygulanması
3. Para toplama işini aynı yıl içerinde yapma ve uygulanan cezaların masraflarının karşılanabilmesi için tedarikte bulunma

Su kullanım organizasyonları harcamalar ve gelirleri dengeleyen bir bütçe bakış açısıyla çalışmalılar. Bu nedenle kendi sorumlulukları dahilinde olan o yıla ait harcamaları önceden tespit etmeli ve bunları karşılayacak bir bütçe düzenlemelidirler. Her bir kurum kendi harcama bütçesini belirler. Bu yöntemler şu şekilde ele alınabilir:
Alana bağlı, Ürüne bağlı (TL/da) (TL Türk Lirasıdır), Sabit ücret (TL/da), ürün sulama süresine bağlı (TL/da) ve Volümetrik: tüketilen su miktarına bağlı (TL/m3)

Kıbrıs'ta tarımsal alanda ve evsel olarak gerekli olan su tarifelerini hesaplamak için kullanılan yöntemler, Kıbrıs'taki en büyük su kaynakları projesi olan Güney Taşıma Projesini finanse etme amacıyla Dünya Bankası (IBRD) (Devlet Basım Ofisi 1988) ve Kuveyt Fonu ile (KFAED) ile olan anlaşmalara göre düzenlenmiştir. Tarım için su tarifesi "Geçerli Eder Değeri"ne göre iken evsel amaçlı kullanım için "Dengelenmiş Bütçe" yöntemi kullanılır.

Bu arada söz edilmelidir ki bir bölgedeki etkili bir çözüm başka bir bölgeye, o bölgenin spesifik koşulları hesaba katılmadan ne kopyalanabilir nede transfer edilebilir.

14. Referanslar

Achouri, M. (1994): Les techniques d'aménagement des versants, in: Séminaire sur la conservation des eaux et du sol en Tunisie 1990-2000, Kasserine

Alaya, K.; Viertmann, W.; Waibel, T. (1993): Les tabias, Direction générale des forêts (Ministère de l'Agriculture), Tunis

Asano, T (1998): Wastewater reclamation and reuse, volume 10, Lancaster – Basel

Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Stott, R. 2000. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization 78(9):1104-1116.

Crites, R., Sherwood C. R., Robert B. (2000). Land treatment systems for municipal and industrial wastes. McGraw-Hill Press.

Crites, R., and Tchobanoglous, G. (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems, WCV/Mc Graw-Hill.

Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J., and Winblad, U. (1998). Ecological sanitation. SIDA, Stockholm, Sweden.

Ferguson, Bruce K. (1998). Introduction to Stormwater. John Wiley & Sons, USA.

Gopal, B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. Water Science and Technology, Vol. 40, No. 3, 27-35.

Hellström, D. and Johansson, E. (1999). Swedish experiences with urine separating systems. Wasser & Boden 51(11), 21-25., Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin

Henze, M. and Ledin, A.(2001) Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic of classic, combined domestic. In: Decentralised sanitation and reuse, concepts, systems and implementation (eds. Lens, P., Zeeman,G., Lettinga, G). IWA Publishing

Jacangelo, J.G., Trussell, R.R. (2001) International Report Water and Wastewater Disinfection: Trends, Issues and Practices, Preprints 2nd World water congress in Berlin, October 2001

Jiayi, L. and Junqi, Wang (2001). The practice, problem and strategy of ecological sanitation toilets with urine diversion in china. Proceeding of 1st international conference in ecological sanitation, 5-8 Nov. 2001, Nanning, China. EcoSanRes, c/o Stockholm Environment Institute, Sweden

Jönsson, H., Vinnerås, B., Hoeglund, C., and Stenstroem, T.-A. (1999). Source: Separation of urine. Wasser & Boden 51(11), 21-25., Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin

Kamizoulis, G., A. Bahri, F. Brissaud, and A.N. Angelakis (2003). Wastewater Recycling and Reuse Practices in Mediterranean Region-Recommended Guidelines

Larsen, T.A., and Gujer, W. (1996) Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). Wat. Sci. Tech. 34(3-4), 87-94.

Niemczynowicz, J. (1997). The Water Profession and Agenda 21. Water Quality International March/April 1997, pp 9-11.

Otterpohl, R. (2001a) Black, brown, yellow, grey - the new colours of sanitation. Water 21, October 2001, 37-41.

Otterpohl, R. (2001). Design of highly efficient source control sanitation and practical experiences. in: Decentralised Sanitation and Reuse p.164-179(Lens, P.; Zeemann, G. and G. Lettinga, Eds). IWA Publ.

Otterpohl, R.; Albold, A, Olderburg, M. (1999a). Source Control in Urban Sanitation and Waste Management: 10 Systems with Reuse of Resource. Wat. Sci. Tech. Vol. 39 (5) pp.153-160

Otterpohl, R., Grottker, M., Lange, J (1997). Sustainable water and waste management in urban areas. Wat. Sci. Tech. Vol. 35 (9) pp.121-133

OtterWasser (2002). Sustainable sanitation systems. OtterWasser Lübeck, Germany,

Oweis, T.; Hachum, A., Kijne, J. (1999): Water harvesting and supplementary irrigation for improved water efficiency in dry areas, SWIM Paper 7, International Water Management institute, Colombo, Sri Lanka

Prinz, D. (1996): Water Harvesting – History, Techniques and Trends, Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft, 31. Jahrg., Heft 1, pp.64-105

Queens Univeristy, Kingston, Ontario, Canada, Lecture 17, held in 2004 Water Resources & Water Quality 2

Roediger-Vakuumtoiltten http://www.roevac.de

Samwel, M. (2005) Alternatives for Sanitary Systems Ecological Sanitation - A chance for Rural Romanian Areas, WECF Women in Europe for a Common Future

SWAMP (2002). Sustainable Water Management and Wastewater Purification in Tourism Facilities. Guidelines developed within the 5th Framework Programme of the EU.

Tchobanoglous, G., and Burton, F.L. (1991) Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. McGraw-Hill, Inc., New York.

Turkey Country Report 2003, Prepared for the Word Water Forum 2003

UNEP/WHO/HABITAT/WSSCC: Guidelines on Municipal Wastewater Management.

UNEP/GPA Coordination Office, The Hague, The Netherlands (2004).

Urbonas, Ben & Stahre, Peter (1993). Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. PTR Prentice-Hall, Inc. USA.

Water and Sanitation Program (WSP) 2002: Tariffs and Subsidies in South Asia. Paper 1: Understanding the Basics. Water and Sanitation Programme, Washington D.C.

Wendland, C. (2003): Sanitation concepts for small communities. Contribution to the decision making process for the pilot plants within the EMWater project, presented on the 1st Regional Meeting in Amman, Jordan, EMWater project

Werner, C., Mang, H.P., Schlick, J. and Garces, G. (2002). ECOSAN-Introduction of closing loop-approaches in wastewater management and sanitation- a new Supra-regional GTZ project. Proceeding of IWA 5th specialised conference on small water and wastewater treatment systems, Istanbul, Turkey, 24-26 September 20

WHO (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Wolgast, M. (1993). WM-Ekologen ab, PO Box 11162, S-10061 Stockholm, Sweden

Wupperverband (2003). Das Projekt Lambertsmühle:zukunftsfähiges Abwassermanagement im ländlichen Raum. Abschlussbericht des Projekts Lambertsmühle. Wupperverband