

Arıtmada Doğal Bitkilerin Kullanımı, Modeller ve Pilot Çalışma Örneği: Kozan İlçesi

Abdullah YİNANÇ¹

Sevinç ADILOĞLU^{2*}

¹Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 59030 Tekirdağ, Türkiye

²Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

*Sorumlu yazar: E-mail: sadiloglu@hotmail.com

Geliş Tarihi (Received): 01.11.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 12.12.2016

Günümüzde çeşitli yollarla kirletilmiş suyu arıtmak için birçok alternatif bulunmaktadır. Bu alternatifler en basit teknolojiden en ilerisine kadar değişmektedir. Arıtma sistemini seçerken maliyet ve diğer şartlar açısından en uygun teknolojiyi kullanmak ve doğal ortama en az kirletici vermektir. Sulak alan arıtma sistemlerinin tasarımı genel hidrolik parametrelerinden hidrolik yükleme ve kütleli yükleme hızı gibi parametrelerle yapılır. Ancak madde çevrimleri ve kirletici giderme mekanizmaları tasarımı için arıtılmış su kalitesini artırmaya yönelik farklı kinetik modeller de geliştirilmekte ve daha sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok faktörün etkin olduğu ve özellikle biyolojik ayrışabilirliği olan maddelerin temel izlemsel işlem maddesi olması modellemelerde önemli rol oynar. Ayrıca, sulak alan arıtma sistemindeki biyolojik aktivitenin derecesi, aktif ekosistemlerde farklı faktörleri etkileyebilmektedir. Yüzeysel altı akışlı sulak alanlar ve yüzeysel akışlı sulak alanlar temel işleyişi farklı, işlevsel fonksiyonu ise aynı olan sistemlerdir. Burada özellikle bazı parametreler (sıcaklık v.b.) değişime karşı fazla duyarlı değildir. Buda işletmede dikkat edilmesi gereken unsurlardandır. Çalışmada hidrolik yük ve buna bağlı olarak değişik kütleli yüklerdeki değerler (öncelikle BO₅, Azot, Fosfor ve diğer organik maddeler) ile sistemin temel işleyişini oluşturan nitrifikasyon, denitrifikasyon incelemiştir. Çevresel ve işletme faktörleri de değerlendirilerek su kalitesi ve tasarım kriterlerinin uygulama sonuçlarının ülkemizin sıcak bölgelerindeki durumu ve uygulanabilirliği test edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtma, doğal bitki kullanımı, modelleme, tesis, uygulama

Use of Plants in Water Treatment: Models and Pilot Study Case in Kozan District

Today, there are many alternatives to treating polluted water. These alternatives range from the most basic to the most advanced technology. When selecting the most appropriate technology for the treatment system, the aim is to use the most convenient technology in terms of cost and other conditions, and to release the least possible pollutants to the natural environment. Wetlands treatment system designs are done by general hydraulic parameters such as hydraulic and mass loading speed. However, different kinetic models are being developed and are frequently used to improve the water quality of the matter cycles and pollutant removal mechanisms design. Many factors are influential in modelling and particularly the fact that biodegradable substances are the main formative process ingredient plays an important role in modelling. In addition, the degree of biological activity in the wetland treatment system may influence various factors in active ecosystems. Subsurface runoff wetlands and surface runoff wetlands are systematic methods which are different in terms of basic functioning, but are the same in terms of operational functioning. Here, especially some parameters (temperature, etc.) are not very sensitive to change. This is one of the factors to be taken into consideration during the operation. In this research, hydraulic load and values of different loads (primarily BOD₅, nitrogen, phosphorus and other organic materials) and nitrification, denitrification which are the main constituents of the system are examined. The application results of water quality and design criteria in the hot regions of Turkey are tested and also environmental and operational factors are evaluated.

Key words: Water treatment, use of plants, modelling, installation, application

Giriş

Özellikle arazinin bol ve ucuz olduğu yerlerde doğal bitkilerin suların arıtılmasında uygulanması çok ekonomik bir yöntemdir. Ayrıca ötrofikasyonun olduğu göllerde ve sulak

bölgelerde bu tip sistemler kurularak ötrofikleşme de önlenmektedir.

Evsel atıksuların organik madde, azot, fosfor ve metal giderimini sağlayıp çıkış suyunu sulama suyu olarak kullanmak ya da stabilizasyon havuzu,

lagün gibi sistemlerle beraber kullanılarak daha ileri arıtım sağlamak suretiyle su kalitesi bakımından çok iyi bir suyun çeşitli maksatlarda yeniden kullanılmasını sağlamak mümkün olmaktadır.

Doğal sistemler, bu uygulamalarda bilinen ilk ve en uygun örneklerdendir. Burada sadece işletme aşamasındaki enerji ve kimyasal madde kullanımında değil; inşaat açısından da ekonomiktir (Tırıs ve ark., 2003). Bununla birlikte, doğal arıtma sistemleri, mekanik işleyen tesislere göre çok yer kaplar. Doğal sistemler, sadece atıksuda BOİ, AKM, NH₃-N ve TP gibi parametreleri oldukça yüksek bir verimle gidermekle kalmaz; çıkış suyunun özellikle tarımsal sulamada geri kullanımı gibi avantajlar da sağlar (Ayaz ve ark., 2001). Uygun şartlar sağlandığı takdirde düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle organik madde, nutrient ve ağır metallerde yüksek arıtım elde edilebilmekte, bu tür sistemler kullanılarak pek çok yerleşimin veya endüstriyel tesisin atıksu arıtma sorunu ekonomik bir biçimde çözülebilmekte, doğallıktan sapmayan ve çevresel zararları minimize eden bir yaklaşım ortaya konulmaktadır (Adiloğlu ve ark., 2016).

Mevcut su kaynaklarının, artan talebe cevap veremeyecek duruma gelmesiyle, bu kaynaklardan elde edilecek suyun kullanım amacına göre ıslah edilmesine yönelik ileri arıtma teknikleri oluşmaya başlamıştır. Arıtılmış suyun kalitesinin de muhafaza edilmesi ve sağlıklı yollarla kullanıcılara iletilmesi gerekmektedir. Su kaynakları, noktasal kaynakların yanı sıra yayılı olarak gelen kirlenmelerle de kirlenmektedir. Eysel ve endüstriyel atıksu deşarjları gibi noktasal kaynaklardan gelen kirliliğin kontrol altına alınması nispeten kolay olmaktadır. Su kaynaklarını besleyen dere yataklarında ve taşkın alanlarında inşa edilen veya mevcut yapıyı ıslah ederek teşkil edilen su bitkileri ile arıtma alanları yağmur suyu ile taşınan kirliliği önemli ölçüde azaltabilmektedir. İnşaat ve işletme maliyetleri, doğal sistemlere göre çok yüksek olan, klasik yöntemlerle kontrol altına alınamayan, yayılı kaynaklardan gelen kirlilikler, doğal yöntemlerle daha kolay ve çok daha düşük maliyetle kontrol edilebilmektedir. Aşağıda arıtma sistemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir:

Doğal Arıtma Sistemleri

Atıksu arıtımı için yapay sulak alanların kullanımı geçmiş birçok kültürde (Mısır, Çin vb. gibi) kullanılmıştır. Bu uygulama, atıklarını özümseme

kapasitesi oldukça yüksek olan doğal bataklıklara ya da sulak alan bitkilerini içeren uzun ve dar kanallara vererek bertaraf etme yollu denemelerdir (Brix, 1994; Adiloğlu, 2016). Ancak, bu ortamların bir mühendislik sistemi olarak kullanılması 1950' li yıllarda Avrupa' da başlamış ve halen devam etmektedir.

Günümüzde atıksu arıtımı için yapay sulak alanlar Avrupa' nın ve hatta kışları oldukça uzun ve sert geçen Norveç (Jenssen ve ark., 1994), Çek Cumhuriyeti (Vymazal, 1993) ve Yeni Sovyetler Birliği' nin Cumhuriyetlerinde (Magmedov ve ark., 1994) dahi mevcuttur. Yani yapay sulak alanları Antartika hariç dünyanın her bölgesinde görmek mümkündür.

Su Bitkileriyle Arıtım Sistemleri

Su bitkileriyle arıtım sistemleri, stabilizasyon havuzları ve lagünler gibi havuz sistemleri ile sulakalanları birlikte içermektedir. Havuz sistemlerinin performanslarını genelde mikroorganizmaların yaşamları ve köklü bitkilerden daha düşük yapılı bitkiler (algler gibi) etkilemesine karşın sulak alanlarda ise mikroorganizmaların yanı sıra köklü bitkiler gibi daha yüksek yapılı bitkiler arıtım üzerinde etkilidirler (Qasım, 1999).

Havuz Sistemleri

Su bitkileriyle arıtım sistemleri, sistem içine dahil edilen havuz sistemleri ve diğer ünitelerden oluşur. Havuz sistemleri genellikle atıksuları depolamak ve kısmi arıtım yapmak için kullanılırlar. Oksijene bağlı olarak aerobik, anaerobik ve fakültatif olmak üzere üç farklı türe ayrılır. Tümünde de temel arıtım mikroorganizmalarla bitkiler arasındaki ilişkilere yani mikrobiyolojik arıtıma dayanmaktadır. Havuz sistemlerinin çoğunda hem performans hem de çıkış suyu kalitesi sistemdeki mevcut alglere bağlıdır. Algler biyolojik arıtımda rol oynayan diğer canlılara oksijen temin ettikleri gibi alg-karbonat reaksiyonlarıyla etkili bir azot giderimini de sağlarlar (Qasım, 1999).

Sulak Alanlar

Sulak alanlar su tablasının toprak seviyesinde ya da daha yukarısında (>0,6 m) olduğu suya bağımlı alanlardır. Sulak alanların yapısı içerisindeki vejetasyon hem bakteri filmlerinin teması için bir temas yüzeyi oluştururlar hem de atıksudaki kirlenmelerin filtrasyonunda adsorpsiyonunda rol oynarlar. Bitkilerin yapraklarıyla köklerine transfer ettikleri oksijen sayesinde bu bölgede ve yakın

çevresinde çok yoğun bir mikrobiyolojik faaliyet gerçekleşmektedir. Doğal ve yapay olmak üzere iki farklı sulak alan mevcuttur (Qasim, 1999).

Doğal sulak alanlar çoğu kez alıcı suların bir parçası olarak kabul edilmektedir. Doğal sulak alanlara atıksu deşarjındaki maksat mevcut habitatın iyileştirilmesidir. Bu sebeple de sisteme ikinci ya da daha ileri düzeyde arıtılmış atıksu deşarjları verilebilmektedir. Arıtım kapasitelerini daha da iyileştirmek için doğal sulak alanların modifiye edilmesi doğal ekosisteme zarar verebileceğinden müdahaleden kaçınılmalıdır (Qasim, 1999).

Yapay sulak alanlar doğal bir ekosisteme olan deşarjla ilgili kısıtlamalar olmaksızın doğal sulak alanlardaki mevcut tüm arıtıma yeteneğini bünyesinde bulunduran sistemler olup doğal sulak alanların atıksu arıtımı için planlanmış şekilleridir.

Yapay sulak alanlar ya serbest yüzey akışlı (SYS) sistemler ya da yüzeyaltı akışlı (YAS) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. SYS sistemlerinde su yüzeyi atmosferle temas halinde, YAS sistemlerinde ise su bir dolgu malzemesi arasından aktığı için atmosferle temas halinde değildir.

SYS sistemleri köklü, yüzücü ve batık türde olan üç farklı vejetasyonun sistemdeki baskınlığına bağlı olarak üç farklı alt kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar sırayla: köklü bitkilerle arıtım sistemleri, yüzücü bitkilerle arıtım sistemleri ve batık bitkilerle arıtım sistemleridir. YAS sistemlerde ise yüzücü ve batık bitkiler değil tamamen köklü bitkiler kullanılmakta olup atıksuyun akışına bağlı olarak iki farklı türde incelenmektedir. Bunlar sırayla: yatay yüzeyaltı akışlı ve düşey yüzeyaltı akışlı sistemlerdir. Şekil 1'de SYS sistemleri görülmektedir (Constructed Wetlands Guidance Manual-Ontario Rural App., 1999).

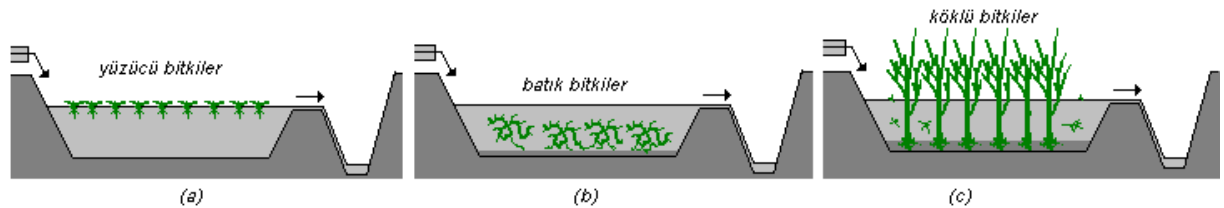
Serbest Yüzey Akışlı ve Köklü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemler

SYS sistemleri içerisinde en yaygın olan türüdür (Şekil 1.c). Seri halinde kanallardan ya da havuzlardan ibaret olup yeraltına sızmanın önlenmesi için taban yapısı kil gibi sızdırmaz bir materyalle kaplıdır. Köklü bitkilerin (Kamış: Cattail ve Saz: Bulrush gibi) dikilmesi ve desteklenmesi için geçirimsiz tabakanın üzerinde belirli bir kalınlıkta toprak tabakası bulundurulur. Sığ derinlikli olduğu için yavaş akım şartları uygulanmaktadır (Hamilton ve ark., 1993). Çökeltme işlemiyle atıksudaki çökebilir katılar ve partikül formundaki N ve P giderilir ve sonuçta atıksuyun BOİ₅ değeri düşürülür. Zamanla tabanda nütrientce zengin bir çamur tabakası meydana gelir. Makrofitler (gözle görülebilen damarlı bitkiler) kökleriyle bu çamur bölgesine oksijen transfer ederek mikroorganizmaların kirleticileri aerobik olarak ayrıştırmasına yardımcı olurlar. Makrofitler kirleticilerin giderilmesini sağlayan mikroorganizmalar için fiziksel destekleyiciler konumundadırlar (Constructed Wetlands Guidance Manual-Ontario Rural App., 1999).

Yüzücü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri

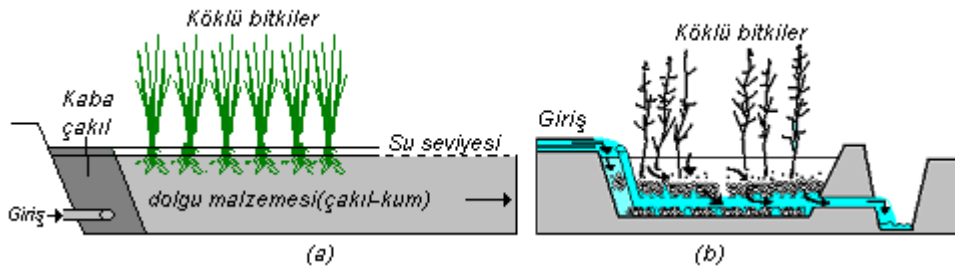
Atıksudaki nütrientleri gidermek ve algleri kontrol altına almak için baskın olarak Su mercimeği (Duck weed) ve Su sümbülü (Water hyacinth) gibi yüzücü bitkilerin kullanıldığı SYS sistemleridir (Şekil 1.a). Bu tür sistemlerde genelde bitkilerin sürüklenerek bir yöne yığılmasını önlemek ve bitkiler üzerine rüzgarın olumsuz etkisini azaltmak için yüzücü bariyerler kullanılmaktadır.

Yüzücü bitkiler yüzeyi tamamen kapladıklarından güneş ışığını bloke ederek alglerin gelişimini önlerler (Lemna Corporation, 1994). Bitki gövdeleri ve bariyerler türbülansı azaltarak asılı maddelerin daha kolay çökebilmelerini sağlarlar. Nutrient yüküne, iklime ve arzu duyulan arıtımın derecesine bağlı olarak bitkilerin periyodik olarak hasatlanmaları önerilmektedir (Lemna Corporation, 1994).



Şekil 1. SYS sistemleri (a-yüzücü bitkiler, b-batık bitkiler, c-köklü bitkilerin hakim olduğu sistemler)

Figure 1. FWS systems (Floating Water Systems, systems which are mainly composed of a-floating plants, b- submerged plants, c-rooted plants).



Şekil 2. YAS sistemleri (a-yatay akışlı, b-düşey akışlı).

Figure 2. FWS systems (a-horizontal flow, b-vertical flow).

Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri

Bu tür sistemler henüz deney aşamasındadırlar. Genelde birinci ve ikinci arıtımı takiben nihai arıtım kademesi olarak kullanılmaktadırlar (Brix, 1994). Bu tür sistemler hakkında çok az bilgi mevcuttur (Şekil 2.b).

Kirletici Giderimi

Yapay sulak alanlarda kirletici giderimiyle ilgili altı temel biyolojik reaksiyondan bahsedilir. Bunlar; bitki solunumu, fotosentez, fermentasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobiyolojik fosfor giderimidir(Mitchell, 1996). Belirli maddeler ise (özellikle metaller) kimyasal reaksiyonlarla çözünemeyen bileşiklere dönüşür ve çökeltilerek giderilir (Tırıs ve ark., 2003).

AKM: Bitkiler su akımını bloke edip hızlarını düşürürken askıdaki maddelerin çoğu çökme ve filtrasyonla giderilir. Daha iri boyutlu askıda maddelerin giderimini sağlamak ve sulak alanın tıkanmasını önlemek için sulak alanların girişine bir çökeltim havuzu konur. Havuz aynı zamanda çok kirli ise giriş suyunu seyreltmek için de kullanılabilir. Bu proses belirgin bir derecede BOİ, nütrientler (azot ve fosfor) ve patojenlerin giderimini sağlar.

BOİ: Çökeltmeden sonra kalan çözünabilir organik maddeler bitkilerle temas halindeki bakteriyel biyofilmlerle (konvansiyonel sistemlerdeki benzer) aerobik olarak giderilir. Bitkilerin bu biyofilm tabakasına kökleri vasıtasıyla temin ettikleri oksijen aerobik ayrışmaya yardımcı olur. Organik maddelerin anaerobik ayrışımı ise taban kısmında olur.

Sulak alanlarda önemli parametrelerden biri olan azot kayıpları nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla olmaktadır. Nitrosomans'lar vasıtasıyla amonyum aerobik reaksiyonlarla nitrite oksitlenir. Nitrit ise daha sonra Nitrobakteriler(nitrat

oluşturan) vasıtasıyla yine aerobik olarak nitrate oksitlenir. Taban kısmına geçen nitratlar ise burada denitrifikasyon bakterileriyle (*Pseudomonas spp.* ve diğer bakteriler) gaz ürünlere (N_2 gibi) dönüştürülür (Jeffrey ve ark., 2000; Karaman ve ark.,2012). Bazı bakteriler (*Rhizobium*) atmosferdeki azot (N_2) molekülündeki güçlü üçlü bağları kırarak amonyumu bünyelerine alırlar. Bitkiler biyofilmin oluşmasını sağladıklarından ve bu bölgelere oksijen temin ettiklerinden kök bölgesindeki nitrifikasyonla azot gideriminde önemli bir rol oynarlar (Brix, 1987). Bitkiler aynı zamanda giren nütrientlerin yalnızca küçük bir kısmını da (<5%) bünyelerine alarak gidermektedirler. Bitkiler tarafından kullanılabilen azot formları NH_4^+ ve NO_3^- tır. Amonyum ve nitrat bitki bünyesine asimilasyonla ($NO_3^- \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NH_2-R$, R:amino asitin kalan kısmı) alınır (Tırıs ve ark.,2003).

Azot giderimi, akuatik arıtma sistemlerinde mikrobiyel denitrifikasyon ve bitki hasadı yolu ile olabilir. Azot çevrimi çok komplekstir ve ekoloji mühendisliğinde bu elementin en temel kimyasal taşınımının kontrolü bile bir mücadeledir. Sulak alanlar, biyosferdeki atmosferik gazlara, global olarak fark edilir miktarda CH_4 , CO_2 , H_2S ve N_2O katmaktadır. Sulak alanlarda, özellikle ticari alanlarda (çeltik alanlarında mavi-yeşil algler) atmosferden azot gazının fiksasyonunda büyük ölçülerde gerçekleşmektedir (Tok 1997; Müftüoğlu ve Demirer., 1998).

Nitrifikasyon prosesi alan sistemlerinde amonyağın ototrofik bakterilerce indirgenerek nitrat oluşumunun sağlanması şeklinde olmaktadır. Bu proses nitrosomonas ve nitrobakterler tarafından gerçekleştirilmektedir (Kadlec ve Knight, 1996). Denitrifikasyon ise heterotrofik mikroorganizmalar tarafından oluşmakta olup, proses hızı ortamdaki organik

karbon tarafından tespit edilebilmektedir (Reddy, 1985).

Bitki büyümesi ile gerekli olan makro bitki besin elementi olan azotun alınış formlarından olan NO_3^- bitki gelişiminde çok önemli işleve sahipken diğer yandan yüzeysel sularda nitrat ötrofikasyona neden olur. Nitrat ve nitrit su kalitesi kontrolünde de önemlidir, çünkü kirlenmiş yüzeylerden ya da yeraltı suyu kaynaklarından elde edilen içme sularında da bulunması halinde yeni doğanlara zehirli etkisi vardır (methylglobanemia olarak bilinen öldürücü durumu oluşturur).

Azot, sulak alanlarda birçok değişik formda özelleşmiştir ve suya karışıp emilmiştir. SYS sistemi, farklı azot reaksiyonları gösteren dikey bölgelere tabakalar halinde ayrılmıştır ve daha sonraki tamamlayıcı faktör, münferit bitki köklerinin etrafındaki mikro çevreler, hacimsel çevrelerine göre değişebilirler (Reddy ve D'Angelo, 1994).

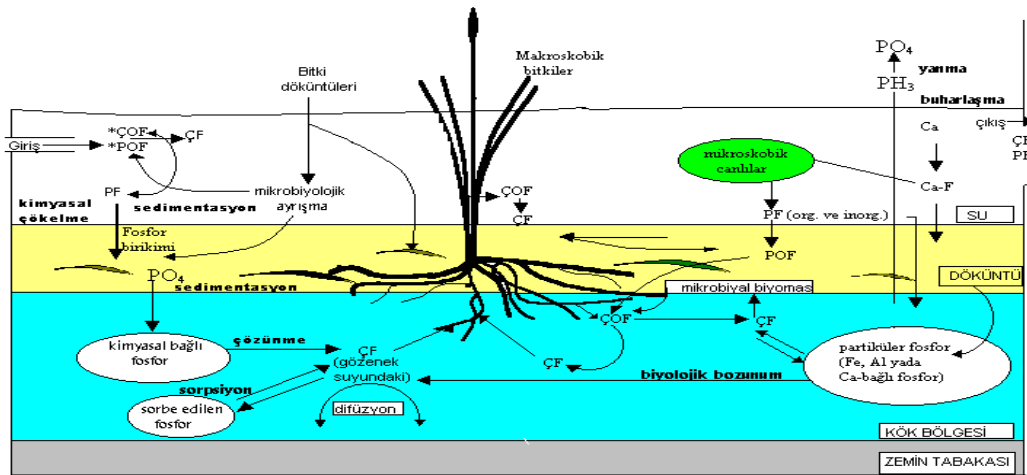
Sulak alanlarda diğer önemli parametre olan fosforun en temel giderimi; adsorpsiyon, filtrasyon, fiziksel çökeltme (yerçekimiyle), kimyasal çökeltme (kompleks oluşumuyla) ve bitki bünyesine alınma yolları ile edilir.

Fosfor, bitkinin gelişimi için gerekli bir makro bitki besin elementidir. Su ekosisteminde sınırlayıcı bir faktördür. Bu sebeple eser miktarlarda bile karışımı su ekosistemi üzerinde önemli etkiler yapar. C: N: P' nin biyokütlerdeki oranı 106: 16: 1' dir. Bu oran biyokütleyi oluşturan nütrientlerin bir ölçütüdür. Atıksularda çoğunlukla bu orana rastlanmaz. Fosfor giderilmesi arıtma teknolojileri açısından zor bir teknolojidir. Fosfor gideriminde kullanılan sulak alanlarda araziye olan ihtiyaç diğer

bütün sulak alan sistemlerine göre çok fazladır. Fosforun doğal kaynağı yüzeysel su girişimleri ve atmosferdir. Çıktılar ise dışarı akım ve yeraltı sularına sızmayla olabilir. Yüzen akuatik bitkilerin hasatı daha kolaydır ve TP, % 20'den daha büyük bir oranda Su sümbülü (Water hyacinth) ile giderilebilmektedir (Fisher ve Reddy, 1987). Fosfor gideriminde iki önemli fiziksel proses vardır: 1) Partikül halindeki fosforun çökeltmesi, 2) Çözünmüş fosforun adsorplanması.

Sisteme giren fosfor, kök bünyesindeki mikroskopik canlılar ve vejetasyon ile alımım, bitki atıklarındaki ve topraktaki organik fosforun minerilizasyonu ve abiyotik prosesler; sedimentasyonu, birikimi, adsorbsiyonu, toprak ve su kolonu arasındaki etkileşimleri kapsamaktadır (Kadlec ve Knight, 1996). Yüzücü su bitkilerin hasadı daha kolay olup, toplam fosforun %20'nin üzerinde su mercimeği ile giderimi söz konusudur (Fisher ve Reddy, 1987). Sulak alanlardaki fosfor depolama transferi ve çevrimi aşağıdaki Şekil 3'te verilmiştir.

Patojenlerin giderimi suyun sıcaklığına ve kimyasına ve güneş ışığına (ultraviyole) bağlı olarak gelişir. Bu faktörlere bağlı olarak doğal yollarla ölüm, bakteri yiyen mikroorganizmaların (zooplankton) bünyesine geçmesiyle ve çökeltmeyle (partiküllere temasla)giderim de önemli bir yer tutar. Bir sulak alan sistemindeki patojen mikroorganizmalar genelde parazitler, bakteriler ve virüslerdir. Tüm patojenlerin izlenmesi pratik olmadığından Fekal koliform gibi indikatör organizmalar izlenir. Fekal streptococci ve MS-2 bir arıtma sistemlerinin giderim performansını ölçmede kullanılmaktadır.



Şekil 3. Sulak alanlardaki fosfor depolama transferi ve çevrimi [ÇOF: Çözünmüş organik fosfor, POF: Partiküler fosfor, ÇF: Çözünmüş fosfor, PH₃: Fosfin, PO₄-P: Ortofosfat]

Figure 3. Phosphorus storage transfer and cycle in wetlands [DOF: Dissolved organic phosphorus, POF: Particulate phosphorus, DF: Dissolved phosphorus, PH₃: Phosphine, PO₄-P: Orthophosphate]

Doğal sulak alanlar patojenlerin yaşamaları için çok uygun bir ortam olduğundan tam olarak giderilmeleri için dezenfeksiyona ihtiyaç duyulur. Yapay sulak alanlarla patojen giderimi %80 ile %90 arasında değişmektedir. Sulak alanlar toksinler için mükemmel bir tamponlayıcıdır. Hidrokarbon, fenol, benzen, toluen ve ham yağların yapay sulak alanlarda çok yüksek verimlerle giderildiği kaydedilmiştir (White ve ark., 1996).

Sulak Alanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları

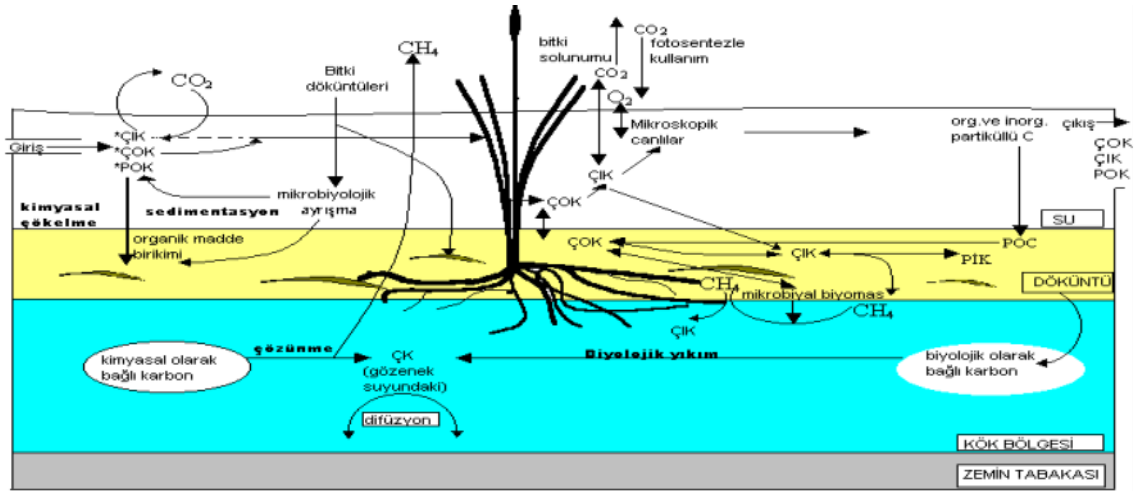
Yapay sulak alan sistemlerinde karbon bileşenleri birbirinden fazlasıyla etkilenirler. Sulak alanlarda karbon döngüsü etkindir ve bu yolla ekosisteme karbon sağlanır. Gerçekleşen birçok proste enerji dışarıdan karbon alımı ve ayrışma proseslerinde oluşan karbonla sağlanır. Arıtım için kullanılan sulak alanlar verilen atıksu ile fazlaca karbonla beslenir. Evsel atık sulardaki organik karbon için en çok kullanılan ölçüm metodu BOI'dir. Sulak alan sisteminde ayrışabilir karbon hemen harcanır. Sulak alan sisteminde fotosentez için bitkilere CO₂ gereklidir. Birçok mikroorganizma solunum ürünü olarak CO₂ bırakır. Birçok ara proses, metan gibi CO₂'nin de mikrobiyal yollarla üretilmesine olanak verir. Bütün gazlar suda belirli miktarlarda çözüldüklerinden sistemden atmosfere veya atmosferden sisteme sürekli bir karbon transferi söz konusudur (Kadlec ve Knight, 1996).

Sulak alandaki biyokütlenin; büyüme, ölüm, ayrışma fazları karbon dönüşümünde biyokütle ile karbon ihtivasi arasında kuvvetli bir ilişki sağlar. Sulak alan bitkilerinde kuru ağırlığın ortalama % 40' i karbondur. Sulak alanda büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada atmosferik karbon kullanılır ve böylece gazlar, çözünmüş organikler ve katı maddeler oluşur. Gaz olarak metan ve karbondioksit (CO₂) ortaya çıkar. Hümk madde diye adlandırılan çözünebilir, büyük organik moleküller suya verilir. Sulak alandaki içsel karbon çevrimi genişir. Ayrışmadaki son ürünler (atık) sulak alan sistemine geri döner (Mitsch ve Gosselink, 1993).

Kuvvetli bir atıksuda büyük miktarlarda besi maddesi vardır. Bu da biyokimyasal çevrimi stimüle eder, dolayısıyla böyle sulak alanlar ötrofikdir ve sonuçta yüksek değerde BOI₅ değerleri verir (Burgoon, 1993).

Sulak alanlarda karbon hızlı bir şekilde ayrışmaktadır (Reddy ve Graetz, 1988). Bu sistemde bitkiler fotosentez yaptıklarından CO₂'e ihtiyaç duyarlar. Birçok organizma solunum yoluyla CO₂ bırakır ve çeşitli ara yollarla CH₄ gibi CO₂'in de mikrobiyolojik yollarla üretilmesine sebep olur. Bütün gazlar suda belirli miktarlarda çözüldüklerinden sistemden atmosfere veya atmosferden sisteme karbon transferi sağlanır.

Sulak alanlardaki büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada atmosferik karbon kullanılmaktadır. Bu sistemlerdeki karbon çevrimi Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Karbon Çevrimi [ÇİK: çözülmüş inorganik karbon, ÇOK: çözülmüş organik karbon, POK: partiküler organik karbon]

Figure 4. Carbon Cycle [DIC: dissolved inorganic carbon, DOC: dissolved organic carbon, POC: particulate organic carbon]

Çizelge 1. SYS sulak alanlar için yatırım, işletme ve bakım masrafları (WEF, 2000).

Table 1. Investment, operation and maintenance costs for FWS wetlands, (WEF, 2000).

Unsur	Maliyet(\$)*	
	Doğal Toprak kaplama	Plastik Membran Kaplama
Arazi maliyeti	16000	16000
Saha araştırması	3600	3600
Saha temizliği	6600	6600
Kazı	33000	33000
Kaplama	0	66000
Bitki dikiminde kullanılan toprak malzemesi	10600	10600
Bitkiler	5000	5000
Bitki dikimi	6600	6600
Girişler/çıkışlar	16600	16600
Alt toplam	98000	164000
Mühendislik harcamaları, harçlar vb.	56800	95100
Toplam yatırım masrafları	154800	259100
İşletme ve bakım masrafları (\$/yıl)	6000	6000

*:Haziran 1999 maliyetleri. ENR CCI (ABD Engineering News Records Construction Cost Index)=6039

Maliyet Analizi

Çizelge 1 de 2 mg/l' lik bir çıkış amonyak konsantrasyonunu hedefleyen ve 378.5 l/gün' lük debiyi kabul eden SYS bir sulak alan için yatırım, işletme ve bakım masraflarının özeti göstermektedir ($NH_3(g)$ = 25mg/l. su sıcaklığı = 20°C. su derinliği = 0.46m. porozite = 0.75. artım alanı = 1.3ha ve arazi masrafı=12355\$/ha). Çizelge

1.' de SYS sulak alanlar için yatırım işletme ve bakım masraflarının bir karşılaştırılması verilmiştir (WEF, 2000).

Çizelge 2.' de serbest yüzey akışlı sulak alan ile konvansiyonel atıksu arıtım sistemlerinin maliyet açısından karşılaştırması verilmiştir (WEF, 2000). Bu SYS yapay sulak alan için arzu edilen NH_3-N çıkış konsantrasyonu 2mg/L' dir.

Çizelge 2. Sulak alan ile konvansiyonel atıksu arıtım sistemlerinin maliyet karşılaştırması

Table 2. Cost comparison of conventional wastewater treatment systems and wetlands

Maliyet Unsuru	Proses	
	Sulak alan	AKR**
İnşaat masrafları (\$)	259000	1104500
İşletme ve Bakım masrafları (\$)	6000/yıl	106600/yıl
Toplam masrafların Haz. 1999 yılı karşılığı (\$)*	322700	2233400
1m ³ litre atıksu başına masraf (\$)	0.12	0.81

*:Haziran 1999 maliyetleri. ENR CCI (ABD Engineering News Records Construction Cost Index)=6039

** : Ardışık Kesikli Reaktör(aktif çamur)

Tahmini atıksu debisi 378,5 m³ olarak kabul edilerek sermaye, işletme ve bakım masrafları Çizelge 2.' de özetlenmiştir (Arıtım alanı = 1.3 ha, NH_{3(g)}=2.5 mg/l, su derinliği = 0.46 m, su sıcaklığı = 20 °C, porozite = 0.75 m ve arazi masrafı = 12355 \$/ha) (WEF, 2000).

Sulak Alan Sistemlerinde Tasarım Şartları ve Kozan Sulak Alan Uygulaması

Sulak alan sistemlerinin tasarımında yer seçiminde özellikle; topoğrafya, toprak özellikleri, sel tehlikesi ve iklim içeren yer özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tasarım kriterleri olarak; Su derinliği, hidrolik yükleme oranı ve kütleli yükleme hızı temel parametrelerdir.

Akuatik bitki sistemlerinin çoğunluğunu su sümbülü sistemleri oluşturur. Organik yükleme oranı, bu sistemlerin tasarımı ve çalışması için anahtar bir parametredir. Kütleli yükleme hızı; BO₅ terimi ile ifade edilen organik yükleme oranı, su sümbülü sistemlerinde 10-300 kg/ha-gün olarak değişmektedir. Havalandırma yapılmadan bütün sistemdeki ortalama organik yüklemeler 100kg/ha-gün geçmemelidir.

Hidrolik yükleme oranı; m³/ha-gün birimi ile ifade edilen hidrolik yükleme oranı, akuatik sistemdeki bir günde verilen atıksu hacminin yüzey alanına bölünmesidir. Hidrolik yükleme oranı evsel atıksu arıtımında su sümbülü sistemleri için 240-3570 m³/ha-gün arasında değişmektedir. İkincil arıtma parametreleri için genel olarak 200-600 m³/ha-gün arasındadır. Havalandırma ilaveli ileri ikincil arıtma için ise 100 m³/ha-günlük yükleme oranını başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Su derinliği; Su sümbülü sistemleri için önerilen havuz derinliği 0,4-1,8 m olup optimum değer 0,9 m'dir. Bunun için kritik nokta havuzdaki sızıda gelişecek kökler için yeterli derinliğin sağlanmasıdır. Suda düşük nütrient konsantrasyonlarında su sümbülünün kökleri daha uzun olmaktadır. Su mercimeği sistemleri için 1,5-2,5 m arasında değerler kullanılır.

Bu çalışmada Adananın Kozan ilçesindeki su kaynaklarını ve su kalitesini koruma amaçlayan ve İller Bankasınca 100 000 m²lik bir alanda 'Lagün Tipli' arıtma tesisi olarak inşa edilen ancak fonksiyon ifa etmeyen arıtma sistemine yönelik olan ve doğal arıtma yöntemlerinin kullanılabilmesinin araştırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metod

Belirlenen amaca yönelik olarak daha önce Kozanda İTÜ, İSKİ ve TÜBİTAK MAM tarafından yapılmış olan çalışmalar bu çalışmanın ilk adımını oluşturmuş ve o çıktılar değerlendirilerek kullanılmıştır. Bu çalışmada, muhtelif bitki türleri ve tesis alternatifleri, doğal arıtmada kullanılabilecek bitki türleri bu tesis için araştırılmıştır. Arıtma performansı, iklim ve diğer çevre şartlarına dayanıklılık hususları göz önüne alınarak 2 farklı bitki türü 3 farklı havuzda ve farklı kombinezonlarda denenmiştir. Yüzücü bitkilerden su mercimeği (*Lemna minor*), köklü bitkilerden Japon şemsiyesi (*Cyperus*) ayrı ayrı ve birleşik olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda önce, Kozan belediyesine ait lagün tipi Atıksu Arıtma Tesisi alanında, her biri yaklaşık 50m² yüzey alanına sahip 3 adet pilot tesis inşa edilmiştir. Tesislerden birincisi, yüzücü su bitkisi olarak *Lemna minor* kullanılmış, ikincisi ise serbest yüzeyli yapılmış ve yine *Cyperus* bitkisiyle bitkilendirilmiş, üçüncüde ise her ikisi beraber kullanılmıştır. Çalışmada hidrolik yük ve buna bağlı olarak değişik kütleli yüklerdeki değerler(Kozandaki çalışmaların ışığında), elde edilen arıtma verimleri, çevresel ve işletme faktörleri değerlendirilerek su kalitesi ve tasarım kriterlerinin sıcak bölge uygulamaları da irdelenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Türkiye'nin sıcak bir iklim bölgesinde Kozan da yapılan bu çalışma, daha önce inşa edilmiş olan ancak işletilemeyen bir atıksu arıtma sisteminin «Kozan stabilizasyon arıtma sistemi» bu yeni

metodun tatbiki köklü bitkilerin Japon şemsiyesi (*Cyperus*), yüzücü bitkilerden su mercimeği (*Lemna minör*) kullanılmıştır.

Mevcut arıtma tesislerinin 2016 yılı için BOI₅ yükü 368 mg/l iken, 2021 yılı için 399 mg/l olacağı tahmin edilmektedir. Projeye göre arıtılmış suda (BOI₅) 45mg/l, asıkıda katı maddelerin (AKM) miktarı ise süspans halinde 100 mg/l olmalıdır. Burada aerob olarak çalışan stabilizasyon havuzlarına su mercimeği ve köklü bitkinin ekilmesi hayata geçirilmiştir. Atık suları arıtmak için kullanılan metodun (teknik-ekonomik

değerlendirilmesi)Türkiye de kabul edilmiş olan metodlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Doğal arıtma sisteminin inşaat ve işletme değerleri Çizelge 1 ve 2 de verilmiştir. Türkiyede 1 ha yüzeysel alanda yapılacak inşaat için 10 000-100 000 \$, yeraltı alanında yapılacak inşaat için 100000-200000 \$ gereklidir. Doğal ve yapay sulak alanları için işletme değerleri esasen 0,003-0,09 \$/m³ olmuştur ki, bu da çok küçük bir değerdir. Aşağıda Şekil 5 'de çalışma alanından bir görüntü verilmiştir.



Şekil 5. Kozan ilçesi stabilizasyon ve anaerobik havuzları (uygulama yapılan)

Figure 5. Stabilization and anaerobic ponds in the Kozan district (in which the tests were done)

Eğer sisteme etkin mikroorganizma bakterileri ilave edilirse, doğal arıtma sistemlerinin inşaat ve işletme giderleri klasik sistemlerle karşılaştırıldığında; inşaat 2-3 kat, işletme ise 3-5 kat ekonomik olmaktadır. Kozanda iki sistem ardı ardına denenmiştir. Bunlar; Kanalda arıtma, Lagünde doğal arıtmadır.

Sistem aerob olarak inşa edilmiştir. Kanalda suyun minimum sıcaklığının 16 hafta süresince 20 °C' ye kadar ulaşabildiği, havuzlarda ise 25-35 °C olduğu gözlenmiştir. Bu durumda ortalama yıllık sıcaklığın kanalda 20°C den az olmaması, koşulunu sağlanmıştır.

Suda çözülmüş oksijenin miktarı anaerob arıtma da hızla oksijenin azaldığı ve ayrışma sonucu sistemin oksijen tükettiği, parçalanma devam ederken oluşan oksijen azlığı ise kısmen su içindeki bitki ve doğal yüzeysel havalandırmalarla

arttırılabilmektedir. Bunun sonucunda oluşan kokular da yok edilebilmektedir. Genellikle meydana gelen prosesler biyolojik ve fiziksel proseslerin bileşiminden ibaret oluşmaktadır. Ayrışabilir maddelerin parçalanması, bakterilerin faaliyeti, havadan oksijenin alınması ve çökebilir maddelerin oksijen tüketimi de göz önünde bulundurularak araştırmaların devam ettiği 16 hafta süresince sistemin girişi ve çıkışındaki oksijenin, KOI,BOI₅, AKM (askıda katı madde), T-N, kanalındaki değişiklikler ölçülmüştür. Araştırmaların sonuçları aşağıdaki Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'den de görüldüğü üzere atık suda; Ayrışabilir maddelerin parçalanmasında (artım sebebiyle) bütün ayrışabilir kütlenin okside olmasını sistemdeki oksijen miktarını ciddi manada azaltır. Kanalda ve stabilizasyon

havuzlarında mikroorganizmaların değişimi ve bunun da arıtma verimine olumsuz etki etmesini önlemek için sisteme 1-2 mg/l oksijen kazanımı gerekmektedir. Anaerob ve fakültatif havuzlarda çökme hızının % 25-50 artar, çamur ise % 10-20 azalır. Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen, H₂S, merkaptanlar, atık hidrojen sülfat ve

amonyak gazı çıkışı %80-90 azalır, pis kokuların oluşması önlenir. Sistemde, BOI₅ %40-55, KOI %30-50, askıda katı maddeler AKM %25-45 ve %T-N 5-40 azalması sağlanmış olur. Stabilizasyon havuzlarından geçtikten sonra sistemin verimliliği ise %90' dan fazladır.

Çizelge 3. Kozan ilçesi atıksu arıtma sisteminin kalite göstergeleri

Table 3. Quality indicators of Kozan district wastewater treatment system

Hafta	T, °C	Kazanılmış oksijen, mg/l		Parametreler, mg/l								
				KOI		BOI ₅		AKM		T - N		pH
		giriş	çıkış	giriş	çıkış	giriş	çıkış	giriş	çıkış	giriş	çıkış	
1	26,7	3,1	2,2	360	260	225	148	230	175	22	21	7,11
2	26,2	3,0	2,3	384	250	240	145	265	171	21	19	7,13
3	27,4	3,5	2,1	392	250	245	140	290	160	22	19	7,10
4	27,6	3,4	1,95	380	230	234	135	265	155	20	17	7,30
5	28,8	3,0	2,05	420	240	258	130	290	160	18	16	6,95
6	30,1	2,6	1,85	380	230	240	132	245	148	20	14	7,30
7	30,6	2,7	1,9	350	210	220	130	245	152	17	13	7,20
8	30,9	2,7	1,7	325	190	210	120	230	150	20	14	7,05
9	33,2	2,9	1,6	360	195	230	128	255	143	19	13	7,20
10	32,6	2,8	1,6	455	210	266	123	290	175	21	14	7,40
11	33,4	2,9	1,5	420	215	255	122	250	170	21	13	7,20
12	32,9	2,8	1,8	390	210	240	125	275	165	22	13	7,15
13	34,3	2,7	0,6	440	160	245	45	290	120	23	11	6,90
14	34,6	2,8	0,45	430	145	235	40	275	120	24	11	6,50
15	35,1	2,6	0,4	445	140	255	38	285	110	23	9	6,88
16	35,1	2,7	0,35	450	142	245	35	280	110	22	9	6,90

Sonuç

Yürütülen ve bu çalışmada, yüzücü ve köklü bitkilerle yapılan çalışmada oldukça yüksek oranlarda organik madde azot ve fosfor giderimi elde edilmiştir. Arıtma performansı, iklim ve diğer çevre şartlarına dayanıklılık hususları göz önüne alındığında yüzücü bitkilerden su mercimeği (*Lemna minör*), Kozan şartlarında kullanılmaya en uygun bitki olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- Adiloğlu, S., Adiloğlu, A., Acikgoz, F.E. Yeniaras T., Solmaz.Y., 2016. Phytoremediation of Cadmium (Cd) from Agricultural Soils Using Dock (*Rumex patientia* L.) Plant. Analytical Letters. 49 (4) : 601-606.
- Adiloğlu, S., 2016. Using Phytoremediation with Canola to Remove Cobalt from Agricultural Soils. Polish Journal of Environmental Studies. 25 (6): 2251-2254.
- Ayaz, S., Akça, L., Yinanç, A., 2001. Treatment of Waste Water by Constructed Wetland in Small Settlements. Water Sci. Tech. pp. 40-51.

- Brix, H., 1994. Use of Wetlands in Water Pollution Control: Historical Development. Present Status and Future Perspectives. Journal of Water Science and Technology 30 (8): 209-220.
- Burgoon, P.S. 1993. Oxidation of Carbon and Nitrogen in the Root Zone of Emergent Macrophytes Grown in Wetland Microcosms. Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville.
- Constructed Wetlands Guidance Manual-Ontario Rural App., 1999. Guidance Manual for the Design, Construction and Operations of Constructed Wetlands for rural Applications in Ontario, Funded by the Canadapt Program of the Agricultural Adaptation Council, Author: Eric Tousignant, Ontario.
- Fisher, M.M. and K.R. Reddy. 1987. Water Hyacinth for Improving Eutrophic Lake Water: Water Quality and Mass Balance. pp. 969-976.
- Hamilton, H., P.G. Nixand A. Sobolewski. 1993. An Overview of Constructed Wetlands as Alternatives to Conventional Wastewater Treatment Systems. Water Pollution Research Journal of Canada 28 (3): 529-548.
- Jenssen, P.D., T. Maehlum and T. Krogstad. 1994. Potential of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments. Journal of Water Science and Technology 28 (10): 149- 157.

- Kadlec. H.R. ve Knight. R.L., 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publisher. FL. USA.
- Karaman, M. R., A. Adiloğlu, A. R. Brohi, A. Güneş, A. İnal, M. Kaplan & M. Zengin. 2012. Plant Nutrition. Ankara, Turkey: Dumat Ofset, 1080.
- Lemna Corporation. 1994. Innovations in Lagoon-Based Treatment. Retention Times, Spring/Summer, (Promotional Literature).
- Magmedov, V.G. and L.I. Yakovleva. 1994. The Experience of the GIS on Using Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. European Water Pollution Control, 4 (2): 22-25.
- Mitchell, C., 1996. Pollutant Removal Mechanisms in Artificial wetlands. Course notes for the IWES 96 International Winter Environmental School. Gold Coast. July.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. Wetlands. New York: v-Van Nostrand Reinhold.
- Müftüoğlu, N.M. and T. Demirer. 1998. Toprakta Azot Bilançosu. Atatürk Üniv. Ziraat Fak.Derg. 29 (1): 175-185.
- Qasim, S.R., 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation, Second Edition, The University of Texas at Arlington.
- Reddy. K.R. and Patrick. W.H., 1984. Nitrogen transformations and Loss in Flooded Soils and Sediments. CRC Crit. Rev. Envir. Control 13: 273-309.
- Reddy, K.R. and D.A.Graetz.1988. Carbon and Nitrogen Dynamics in Wetland Soils. The Ecology and Management of Wetlands. London: Croom Helm. pp. 307-318.
- Reddy, K.R. and E.M. D'Angelo . 1994. Soil Processes Regulating Water Quality in Wetlands. pp. 309-324. Global Wetlands: Old World and New. Amsterdam: Elsevier.
- Tırıs, M., Görgün, E. Ayaz, S., 2003. İçme Suyu Barajlarına Gelen Sularda Sulak alan Sistemleriyle Organik, İnorganik ve Mikrobiyolojik Kirliliğin Giderilmesi . Proje Kodu: 5022410, Gebze, Kocaeli.
- WEF (Water Environment Federation), 2000. Natural Systems for Wastewater Treatment, MOP FD-16, WEF, Alexandria, VA.