

ECOSAN: Ekolojik evsel atıksu yönetimi

Bilsen BELER BAYKAL*, Ayşe D. ALLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü 34469 Ayazağa, İstanbul

Özet

Son yıllarda gündeme gelen ve ekolojik evsel atıksu yönetimini benimseyen ECOSAN (Ecological Sanitation) yaklaşımına göre evsel atıksu bir kirletici değil yeniden değerlendirilerek kullanılabilir bir kaynaktır. Bu yaklaşımda ayrıca, kaynaktan kontrol ve nütrient döngülerinin tamamlanması gibi konular ön plana çıkmaktadır. Buna göre, evsel atıksuların kaynağında fraksiyonlara ayrılarak toplanması ve her bir fraksiyonun özelliklerine uygun olan bir dizi işlemle geçirilerek tekrar kullanımda değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu çerçevede, sarı su (yellow water), kahverengi su (brown water) ve gri su (grey water) şeklinde fraksiyonlar tanımlanmaktadır. Tuvalet haricindeki suların oluşan ve en çok organik madde yönünden zengin olan gri su, bu fraksiyonlardan en az kirletici özelliğe sahiptir ve bu akımın gerekli arıtmadan sonra sulama ve yeraltı suyu beslemesi gibi yollarla su döngüsüne geri verilmesi önerilmektedir. Kaynaktan ayrılarak toplanmış insan idrarından oluşan ve evsel atıksuların içindeki azotun % 90'a yakın bir kısmı ile fosfor ve potasyumun da yaklaşık yarısını içeren sarı suyun tarımda gübre olarak kullanımı, organik madde, potasyum ve patojenik mikroorganizma yönünden zengin olan ve esasen ayrı toplanmış insan dışkılarından oluşan kahverengi sudan ise bir dizi işlemle sonra biyogaz üretiminde ya da toprak şartlandırıcısı olarak yararlanılması öngörülmektedir. Kavramsal çalışmaların Almanya ve İsveç'te, uygulamaların ise Asya ve Afrika ülkelerinde daha yaygın olduğu izlenen ECOSAN'la ilgili olarak ülkemizde de çalışmalar başlatılmıştır. Bir arıtma teknolojisi değil evsel atıksu yönetim yaklaşımı olan ECOSAN, hem altyapı hem de arıtma / işleme yönünden konvansiyonel yaklaşıma göre önemli farklılıklar göstermektedir. 2000'li yılların konsepti olan ECOSAN gerek araştırma gerek uygulama açısından çok açık bir alan sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: ECOSAN, ekolojik evsel atıksu yönetimi, altyapı ve arıtma, evsel atıksu fraksiyonları, geri kazanım ve tekrar kullanım, kaynaktan ayırma.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Bilsen BELER BAYKAL. bbaykal@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 60.
Makale metni 04.12.2007 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 03.01.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

A new domestic wastewater management concept: Ecological Sanitation ECOSAN

Extended abstract

The emerging sanitation and wastewater management concept of the recent years Ecological Sanitation (ECOSAN) claims that domestic wastewater is not a waste to be discarded but a source to be revaluated. Within that context, various domestic wastewater fractions are separated at their source of origin, collected, stored and processed as necessary as different streams. Basically three fractions are defined: grey water, yellow water and brown water. A very important advocacy of ECOSAN is the closing of material loops, especially those for the nutrients.

Grey water which is all but toilet wastewater, constitutes about three fourths of conventional domestic wastewater and is the fraction which is the weakest among the three in terms of pollution potential. As such, its final reuse in the water cycle is suggested. The use of processed grey water as irrigational water or as a source for groundwater recharge is recommended after treatment mainly to provide organic matter removal in various biological treatment systems.

Yellow water consists of source separated urine at its origin. This fraction is rich in terms of nutrients and contains nearly 90 % of the nitrogen and over 50 % each of phosphorus and potassium in domestic wastewater. As such, its use in agriculture as fertilizer is recommended after storage for hygienic reasons. Storage periods of up to six months are recommended for the complete destruction of pathogens. During storage characteristics of urine change significantly, especially in terms of the form of nitrogen, as urea is converted into ammonium, and in terms of salinity.

Work undertaken in the field of processing and reuse of yellow water has mainly concentrated on the direct application of urine onto agricultural fields. The results from such efforts have given results comparable to synthetic fertilizers from the point of view of crop production; however the need for further research regarding the possible fate of pharmaceuticals and hormones from urine together with the issue on salinity has also been brought to attention. A group of work, although more limited in number,

has also been presented in the literature directed towards the indirect use of urine for agricultural purposes, for example upon processing with the natural zeolite clinoptilolite or struvite precipitation.

Brown water on the other hand is mainly separately collected human feces at its origin. This stream contains the majority of pathogenic microorganisms, nearly half of each of organic matter and potassium in domestic wastewater. The use of brown water for biogas production upon anaerobic digestion or as soil conditioner after composting is suggested.

Clearly, the practice of ECOSAN at the large scale as a new means of domestic wastewater management necessitates the installation and construction of relevant infrastructure which will be considerably different from their conventional counterparts, like toilets which can separate yellow and brown water fractions, and processing units together with storage facilities.

Guidelines and limits regarding the reuse of domestic wastewater fractions are extremely limited at this time, and the existing ones given by the World Health Organization are directed towards the deactivation of pathogenic microorganisms and the routes of application of the urine onto agricultural fields. Setting of limits and guidelines in terms of concentrations of constituents is a very significant issue which is yet to be handled.

The majority of the work devoted to the subject matter in terms of conceptual research seems to be generated mostly in Germany and Sweden, while the majority of practical applications are conducted mostly in Asian and African countries. Although limited in number, ECOSAN related research is also on the way in Turkey as well, and most of those efforts are directed towards alternatives devoted to the indirect use of urine in agriculture together with alternatives related to the treatment of grey water.

ECOSAN seems to be one of the developing concepts of the future and ECOSAN related research is one of the open areas in environmental engineering, as well as in terms of practice and practical applications.

Keywords: *ECOSAN (Ecological Sanitation), domestic wastewater management, infrastructure and treatment, domestic wastewater fractions, recovery and reuse, source separation.*

Giriş

Son yılların önemli gündem maddelerinden birini oluşturan ve öncelikli konuları / kavramları arasında yer alan sürdürülebilirlik kavramı, çevre kirliliğinin kontrol altına alınması yanında doğal kaynakların kontrollü kullanımı ve geri kazanım / yeniden kullanım konularını da ön plana çıkarmıştır.

Bu çerçevede son yıllarda gündeme gelen yeni bir kavram, ekolojik evsel atıksu yönetimini benimseyen ECOSAN (Ecological Sanitation) yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre evsel atıksu bir kirletici değil yeniden değerlendirilerek kullanılacak bir kaynaktır. Buna göre, evsel atıksuların fraksiyonlara ayrılarak toplanması ve her bir fraksiyonun özelliklerine uygun olan bir dizi işlemde geçirilerek tekrar kullanımda değerlendirilmesi fikri ortaya atılmaktadır. Bu çerçevede, sarı su (yellow water), kahverengi su (brown water) ve gri su (grey water) şeklinde fraksiyonlar tanımlanmaktadır. Kaynakta kontrole dayalı bir yaklaşım olan ECOSAN yaklaşımı ile sürdürülebilirlik açısından önemli bir alternatif sunulmaktadır.

ECOSAN yaklaşımının kullanımı, kuşkusuz farklı bir evsel atıksu toplama sistemi / düzeneği zorunluluğunu beraberinde getirmesinin yanı sıra, konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesis şemalarının tekrar gözden geçirilmesini de gerektirmektedir. Geri kazanım / tekrar kullanım çerçevesinde de yeni bir açılım sunan ECOSAN gerek araştırma gerekse uygulama konusunda yeni alanlara işaret etmektedir.

ECOSAN kapsamında tanımlanan fraksiyonlardan esasen kaynağında ayrı toplanmış insan idrarından oluşan sarı su, nütrient açısından çok zengin olup evsel atıksularda bulunan nütrientlerin en önemli kaynağıdır. Bu özelliğinden ötürü sarı suyun tarımda ya da peyzaj / yeşil alanlarda gübre amaçlı kullanımı önerilmektedir. Bu konuda şimdiye kadar yapılan araştırma ve uygulamaların büyük çoğunluğu idrarın bitkilere doğrudan uygulanması şeklinde olmuştur.

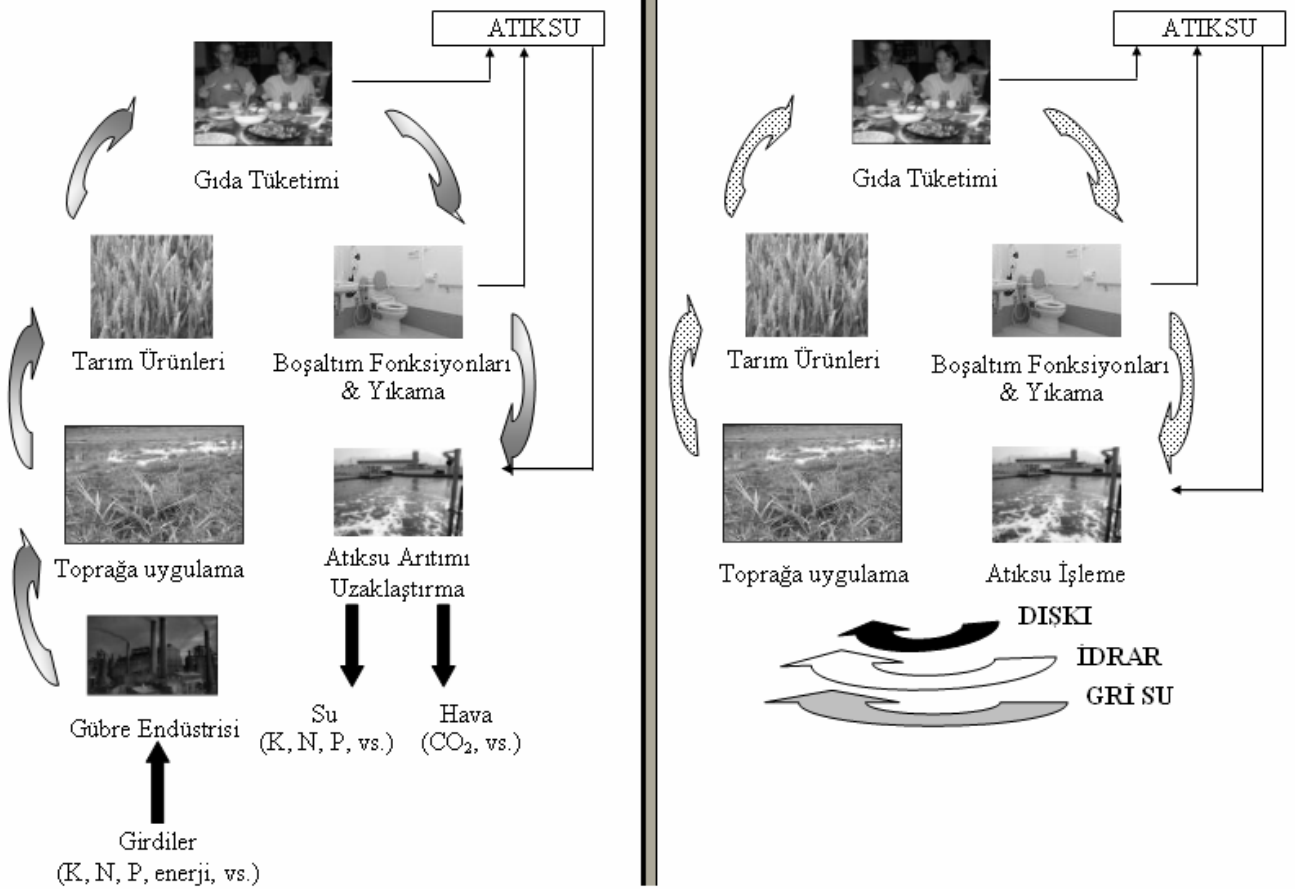
Bu makalede, ECOSAN yaklaşımının genel çerçevesi itibarıyla tanıtımı, evsel atıksuların

kaynağında ayrılarak toplanması ve idrarın gübre amaçlı kullanımı ağırlıklı değerlendirilmesi yanında, ülkemizde ECOSAN ile ilgili yapılan çalışma örneklerinin genel çerçevesi ile sunulması amaçlanmaktadır. Bu şekilde gerek araştırmacılar gerekse uygulamacılar için yeni bir bakış açısı oluşturulması hedeflenmektedir.

ECOSAN yaklaşımı

2000'li yıllarda gündeme gelen ECOSAN yeni bir arıtma teknolojisinden çok yeni bir yönetim yaklaşımı şeklindedir. Buna göre evsel atıksular uzaklaştırılması gereken bir atık değil, değerlendirilmesi gereken bir kaynak olarak görülmektedir. Bu kaynağın en etkin şekilde değerlendirilebilmesi için, içerik olarak birbirinden farklı özellikler gösteren evsel atıksu fraksiyonlarının kaynağında akımlara ayrılarak toplanması, bunu takiben de her akımın özelliklerine uygun işlemlerden geçirilerek değerlendirilmesi önerilmektedir (Werner vd., 2003; Beler Baykal, 2006).

ECOSAN yaklaşımının en önemli özelliklerinden biri, nütrient döngüleri başta olmak üzere evsel atıksuyun içinde bulunan madde döngülerinin, tamamlanarak kapanmasının sağlanmasıdır (Jönsson, 2003; Otterpohl vd., 2003). Şekil 1, konvansiyonel atıksu arıtımındaki madde akışı ve tamamlanmayan madde döngüleri ile ECOSAN yaklaşımı tarafından önerilen madde akışı ile kapanan madde döngülerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Konvansiyonel sistemlerde atıksuyun içindeki maddeler oksidasyon prosesleri ile çeşitli son ürünlere dönüştürülerek organik karbon CO₂ olarak gaz fazına aktarılırken, azot, fosfor, potasyum gibi gübre değerine sahip maddeler, doğrudan toprağa döndürülerek besin zincirine geri çevrilmek yerine çeşitli alıcı ortamlara verilmektedir. Buna karşın ECOSAN yaklaşımında, özellikle gübre değerine sahip maddelerin doğrudan doğruya tarımda kullanılarak gerek bunlar için yapılan arıtma gerekse gübre üretimi için yapılan işlemler ve bunlarla ilgili harcamaların ortadan kalkması yanında bu şekilde gerçekleştirilebilecek enerji tasarrufu gündeme getirilmektedir.



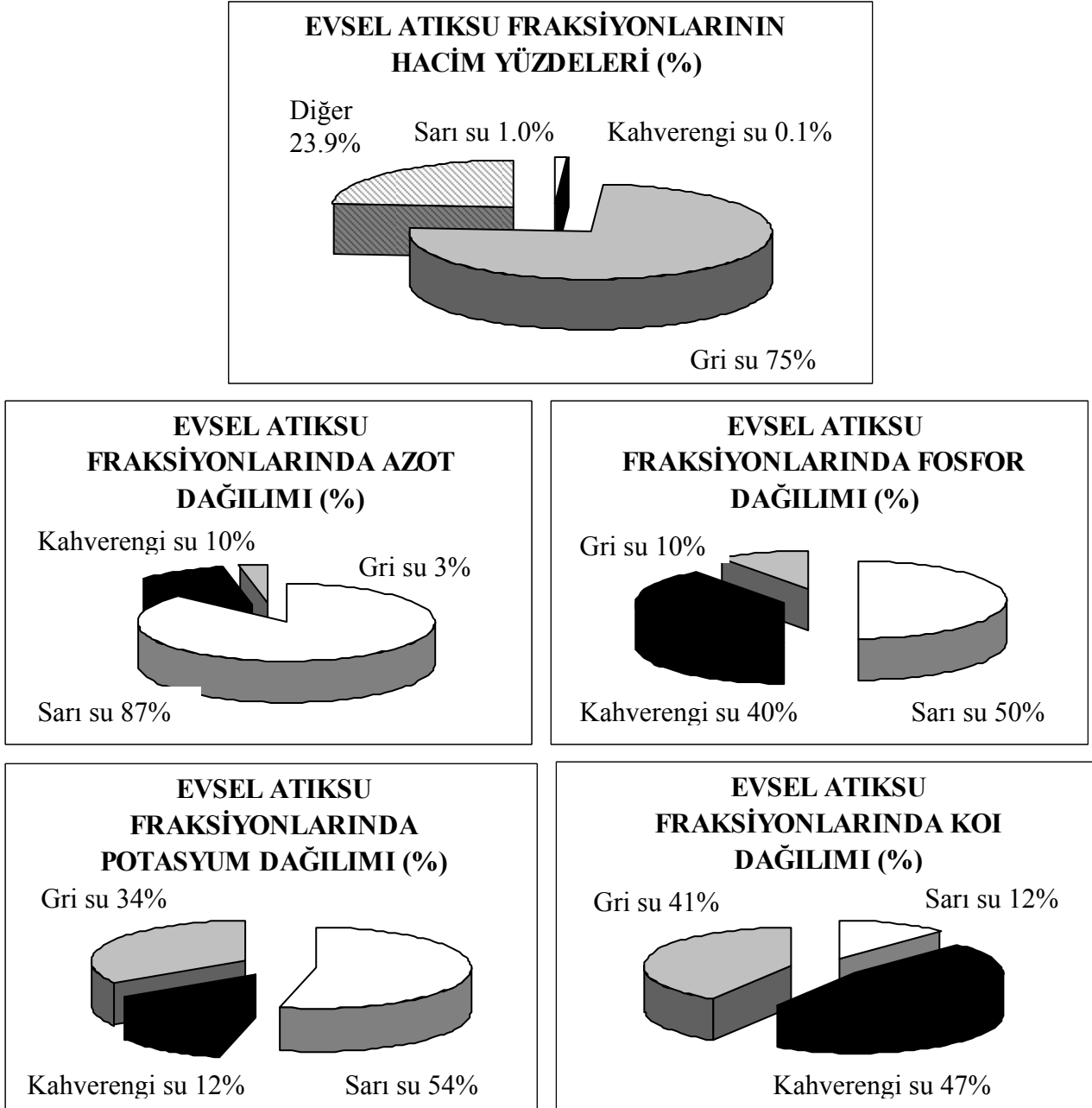
Şekil 1. Konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri ve ECOSAN yaklaşımında madde döngüleri

ECOSAN yaklaşımında farklı akımların ayrılması çerçevesinde başlıca üç fraksiyon tanımlanmaktadır: gri su, sarı su ve kahverengi su. Otterpohl ve diğerleri (2003)'e dayanılarak hazırlanan her bir akımın bünyesinde bulunan bileşenler Şekil 2'de, Werner ve diğerleri (2003)'e dayanılarak hazırlanan akımların özellikleri ise Şekil 3'de gösterilmektedir.

Gri su tuvalet sularının dışında kalan tüm atıksuları içermektedir. Evsel atıksu fraksiyonlarının içinde kirlilik yönünden en düşük seviyede bulunan ve en az kirletici içeren akım gri sudur. Pratik olarak tuvalet sularının haricindeki tüm evsel atıksu akımlarını kapsayan bu akımın başlıca kaynakları, mutfak atıksuları, banyo, lavabo ve çeşitli yıkama sularıdır. %75'lik pay ile hacimsel olarak evsel atıksuyun en büyük yüzdesini oluşturan gri suda patojen bulunma olasılığı düşük olup, bu fraksiyon nütrientler açısından da fazlaca zengin değildir. Gri su en çok organik

madde açısından zengin olup, bu grup kirleticinin giderilmesini takiben su çevrimine geri verilerek değerlendirilmesi öngörülmektedir. Bu çerçevede sulama suyu ve yeraltı suyu beslemesi öncelikle önerilen kullanımlar arasındadır. Gri su akımının organik maddeden arıtılması bağlamında da çeşitli biyolojik karbon giderim sistemleri yanında yapay sulak alanlar önemli bir yer tutmaktadır.

Esasen ayrı toplanmış idrardan oluşan sarı su hacimsel olarak evsel atıksuyun %1'den daha az bir bölümünü oluşturmaya karşın, nütrientlerin çok büyük bir bölümünü bünyesinde barındırmaktadır. Evsel atıksu içindeki azotun % 90'a yaklaşan bölümü ile fosfor ve potasyumun yarısından fazlası bu fraksiyonda bulunmaktadır. Sarı su organik madde yönünden üç fraksiyonun en zayıfıdır ve tamamen steril olmamasına karşın, önemli miktarda patojenik mikroorganizmalar içermemektedir.

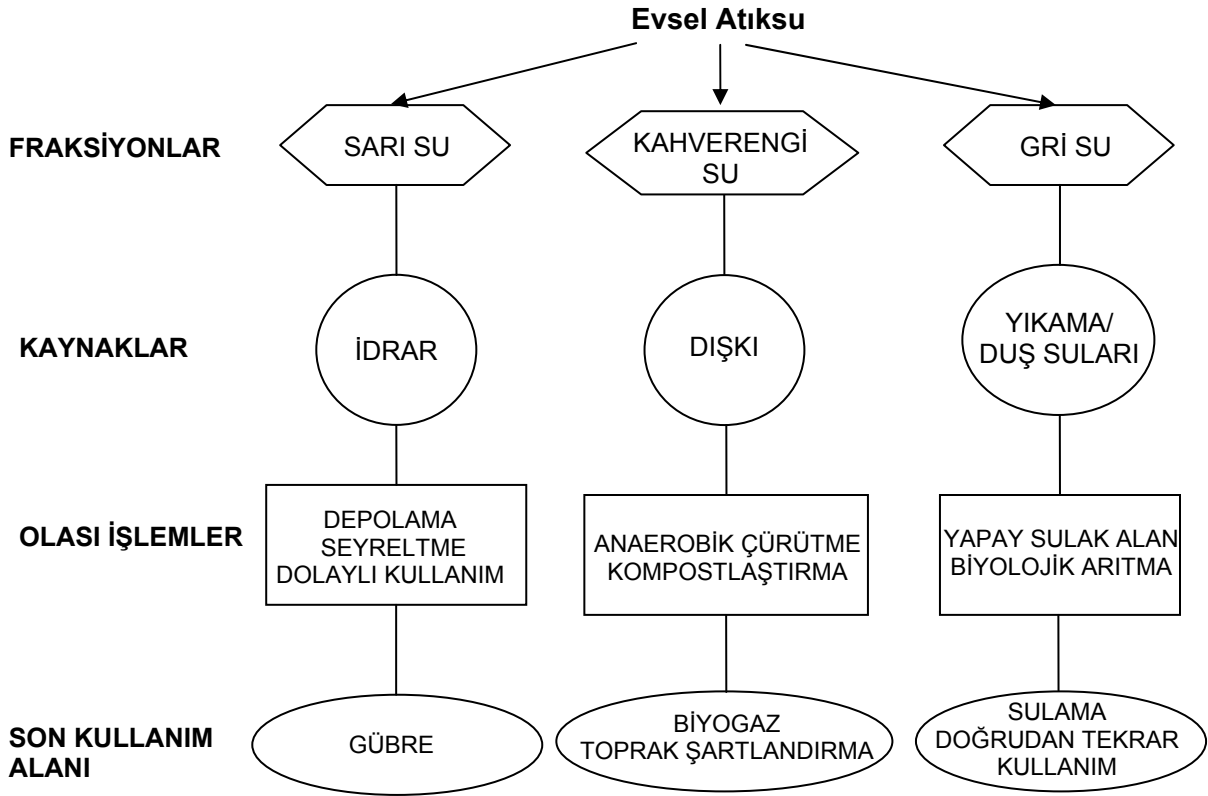


Şekil 2. Evsel atıksu bileşenleri (Belser Baykal, 2006)

Yüksek miktardaki nütriënt içeriğinden dolayı sarı suyun tarımsal alanlarda ya da peyzaj / yeşil alanlarda gübre amaçlı kullanımı ve özellikle hijyenik güvenlik amaçlı olarak uygulamadan önce toplanan idrarın depolanması önerilmektedir (Höglund, 2001; WHO, 2006). Literatürde genellikle sarı suyun, bazen seyreltmenin ardından, doğrudan kullanımının baskın olmasına rağmen (Jönsson, 2003; Simons ve Clemens, 2003; Vinneras vd., 2003; Pinsem vd., 2004), idrarın işlendikten sonra dolaylı kullanımlarının

da araştırıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Bayram, 2005; Belser Baykal, 2003, 2007; Belser Baykal vd., 2004, 2005, 2007; Belser Baykal ve Bayram, 2005; Ganrot, 2005; Kabdaşlı vd., 2006; Lind vd., 2000).

Kahverengi su, sifon sularından ayrılması halinde hacimsel olarak % 0.1 gibi evsel atıksuyun çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu akım bir miktar azot ve potasyum içermesine karşılık özellikle organik madde ve fosfor açısından



Şekil 3. Eysel atıksu fraksiyonları (Belir Baykal, 2006)

zengin olarak bu iki bileşenin yarısına yakın kısmını içermektedir. Öte yandan, evsel atıksulardaki patojenik mikroorganizmaların tamamına yakın bir bölümü kahverengi suda bulunmaktadır. Bu fraksiyonun ya anaerobik proseslerle biyogaz kaynağı ya da kompostlaştırma sonunda toprak şartlandırıcısı olarak kullanımı önerilmektedir.

ECOSAN altyapısı

ECOSAN yaklaşımının büyük ölçekte hayata geçirilebilmesi kuşkusuz bu yaklaşıma uygun bir altyapının oluşturulabilmesine bağlıdır. Bu durumda gerek bina içi tesisat, gerek çevresel altyapı, gerek arıtma tesisleri tasarımı gibi uygulamaya dönük konularda konvansiyonel sistemlere göre farklılık gösteren sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu bağlamda ilk olarak farklı akımları ayırabilen tuvaletler, tesisatla ilgili borulama sistemleri, her akım için ayrı toplama ve gerektiğinde, özellikle sarı ve kahverengi su için, depolama düzeneklerinin hazırlanması / yerleştirilmesi /

inşası birinci dereceden önem taşımaktadır. Tuvalet sistemleri ile ilgili olarak sulu ve susuz çalışan çeşitli seçenekler mevcuttur. Şekil 4'te idrarı diğer tuvalet atıklarından ayıran tuvaletlerle (urine diverting toilets) susuz çalışan pisuvarlara (waterless urinals) birer örnek sunulmaktadır. Bu tip tuvalet düzenekleri halen ticari olarak üretilmektedir.

Farklı tuvalet sistemlerine ilave olarak, konvansiyonel sistemlerdeki tek borulama hattı yerine, Şekil 5'de basitçe sunulduğu şekilde gri suyu, sarı suyu ve kahverengi suyu ayrı ayrı toplayıp iletebilecek boru tesisatına ve her bir akımı ayrı ayrı toplayarak gereğinde depolayacak tanklara ihtiyaç bulunmaktadır.

ECOSAN yaklaşımı uyarınca evsel atıksu fraksiyonlarının kaynaktan ayrılarak toplanmasının konvansiyonel evsel atıksu arıtma sistem şemaları açısından da önemli sonuçları bulunmaktadır. Bu konuda özellikle konvansiyonel sistemlerdeki nütrient giderim birimlerinin gözden geçirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Örnek

olarak sadece idrarın ayrı toplanması halinde bile, evsel atıksu içindeki azotun % 90'a yaklaşan bir bölümünün sarı su ile uzaklaştırılacağı noktasından hareketle, evsel atıksu sistemlerinde azot giderimi gereksiniminin ortadan kalkacağı ve azot giderim şemalarının gözden geçirilmesi gereği görülmektedir. Benzer bir irdelemenin fosfor için de yapılması anlamlıdır.



İdrar ayıran tuvaletler
(urine diverting toilets)

Susuz pisuvar
(waterless urinal)

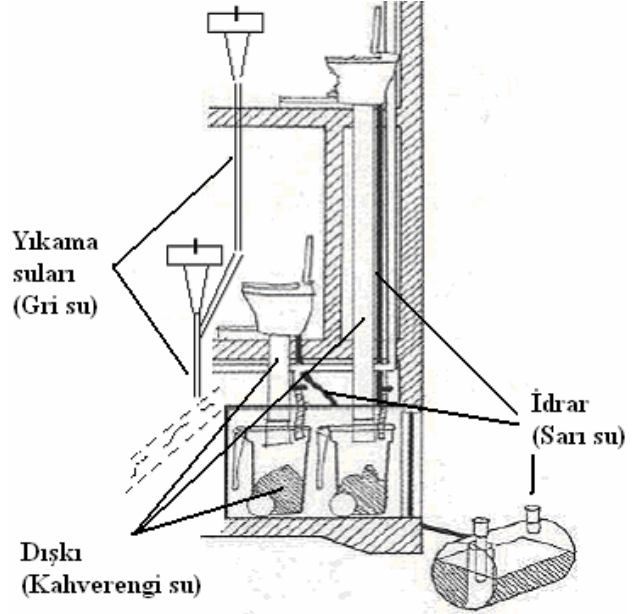
Şekil 4. ECOSAN tuvaletleri (Werner, 2006)

Kaynakta ayrılmış atıksu fraksiyonlarının değerlendirilmesine bir örnek: Sarı suyun gübre amaçlı kullanımı

Kaynağında ayrı toplanmış insan idrarından oluşan sarı suyun, evsel atıksulardaki nütrientlerin büyük bir kısmını içermesi nedeniyle tarımda gübre olarak kullanımı önerilmektedir. Bu çerçevede yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu doğrudan uygulama şeklinde olmuş ve çeşitli çalışmalarda toprağa doğrudan uygulanan idrardan gübreleme fonksiyonu açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Jönsson, 2003; Vinneras vd., 2003; Pinsem vd., 2004). Ayrı toplanmış insan idrarı ve sentetik gübre ile alınan sonuçlar karşılaştırıldığında benzer sonuçlara ulaşıldığı bildirilmiştir (Simons ve Clemens, 2003).

Doğrudan yapılan uygulamada ürün açısından alınan çok olumlu sonuçlara rağmen olumsuzluğa neden olabilecek bazı noktalara da dikkat çekilmiştir. Özellikle sınırlı miktarda da olsa patojenik mikroorganizmaların zararsız hale getirilmesi için toprağa yapılacak doğrudan uygulamadan önce aylar mertebesinde depolama

gereği belirtilmiş, tüm patojenlerin patojenik etkilerinin giderilmesi için altı aya kadar varan bekletme sürelerinin gereğine işaret edilmiştir (Höglund, 2001; WHO, 2006). Ayrıca idrarın içerdiği ilaç kalıntıları ile hormonlar konusunda araştırma gereği ortaya konmuştur (Jansen ve Koldby, 2003; Mes ve Zeeman, 2003).



Şekil 5. Evsel atıksu fraksiyonlarının ayrı akımlar halinde toplanması (Werner (2006)'dan yararlanılarak hazırlanmıştır)

Bahse konu depolama sırasında, yeni toplanmış idrara göre, özellikle ürenin hidroliz nedeniyle amonyuma dönüşmesine bağlı olarak, azot formlarının değiştiği ve yeni toplanmış idrarda zaten yüksek olan tuzluluğun daha da yükseldiği izlenmiştir. Bu nedenle doğrudan kullanımda idrarın yüksek oranda içerdiği tuzluluğun tarımsal kullanım açısından değerlendirilmesinin önemine dikkat çekilmiştir (Bayram, 2005; Beler Baykal ve Bayram, 2005, 2007; Beler Baykal vd., 2005, 2007; Beler Baykal, 2007). Tuzlulukla ilgili olarak yapılan bu tespit, Pinsem ve diğerleri (2004) tarafından rapor edilen % 30'dan az seyreltilen idrarla gübrelenen numunelerdeki olumsuzluğun nedenini açıklamaktadır.

ECOSAN yaklaşımı ile elde edilen atıksu fraksiyonlarının tekrar kullanımı ile ilgili kısıtlar Dünya Sağlık Teşkilatı tarafından çok yeni çıkarılmış olan rehber değerlerle sınırlıdır (WHO,

2006). Örneğin idrarla ilgili verilen rehber değerler, esasen patojenik mikroorganizmaların deaktivasyonuna ve idrarın toprağa verilmesi sırasında yapılacak uygulamaya yöneliktir. Bu çerçevede konsantrasyon bazında standart ve rehber değerlerin oluşturulması birinci dereceden önem taşımaktadır.

İdrarın tarımda kullanımının olumlu sonuçlarından sürdürülebilirlik adına yararlanılırken olumsuzlukların giderilmesi açısından idrarın işlendikten sonra dolaylı yollarla toprağa uygulanmasının daha uygun sonuçlara yol açacağı düşünülmektedir. Bu çerçevede daha az sayıda çalışma bulunmakta ve bu konu gerek araştırma gerekse uygulama açısından önemli bir alan oluşturmaktadır. Mevcut çalışmaların önemli bir kısmı çeşitli adsorpsiyon / iyon değişimi yöntemleri ve struvit çöktürmesi ile idrardaki gübre etkin maddelerin geri kazanıldıktan sonra tarımda kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır (Belir Baykal, 2006, 2007; Belir Baykal vd., 2004, 2005, 2007; Belir Baykal ve Bayram, 2005; Ganrot, 2005; Kabdaşlı vd., 2006; Lind vd., 2000).

ECOSAN çalışmalarına genel bakış ve Türkiye’den örnekler

Çoğunluğu 2000’li yıllarda gerçekleştirilen önemli sayıda ECOSAN’a yönelik uluslararası bilimsel toplantıda ve tuvalet forumlarında tartışılan bildirimlerle, ilgili diğer literatür dikkate alındığında, dünya genelinde, bir evsel atıksu yönetim yaklaşımı olarak ECOSAN’la ilgili yapılan kavramsal çalışmaların öncülüğünü ağırlıklı olarak Almanya ve İsveç’te gerçekleştirilen çalışmaların oluşturduğu (Ganrot, 2005; Höglund, 2001; Jönsson, 2003; Lind vd., 2000; Otterpohl vd., 2003; Vinneras vd., 2003; Werner vd., 2003), uygulamaların ise sıhhi altyapıya uzun yıllar önce kavuşmuş Avrupa ülkelerinden daha yaygın olarak bu imkanları kısıtlı olan Hindistan ve Afrika ülkelerinde gerçekleştirildiği görülmektedir. (Calvert, 2003, 2005; Danso vd., 2003; Sridhar vd., 2003; Wafler, 2005).

Ülkemizdeki duruma bakıldığında ise ECOSAN kavramı son derece yeni ve yaygın olarak ta-

nınmayan bir yaklaşım olarak görülmektedir. Türkiye’de konu ile ilgili çalışmalar irdelendiğinde, İstanbul Teknik Üniversitesinde sürdürülmekte olan araştırmaların yanında TÜBİTAK MAM’daki uygulamaya ve araştırmaya yönelik çabalar dikkat çekmektedir. Bu bağlamda İstanbul Teknik Üniversitesinde sarı su ağırlıklı olarak çalışılırken, TÜBİTAK MAM’da ECOSAN yaklaşımının da dahil edildiği ZERO-M projesi çalışmaları yanında, lojman ve hizmet binalarında idrar ayırımına olanak tanıyan tuvalet ve toplama tesisatı uygulamalarıyla gri su arıtım alternatifleri ile ilgili deneysel çalışmalar yürütülmektedir.

İstanbul Teknik Üniversitesinde yürütülen araştırmaların önemli bir bölümü idrardan tarımda dolaylı yollarla gübre amaçlı yararlanmaya yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda idrarın doğrudan tarımsal alanlarda uygulanması yerine işleminden geçirildikten sonra idrardaki gübre etkin bileşenlerin geri kazanılarak tarımda kullanımını hedefleyen çalışmalar yapılmaktadır. Bu çerçevede idrardaki nütrientlerin doğal bir zeolit olan klinoptilolit üzerinde toplanmasıyla oluşan ürünün bitkilere uygulanması (Bayram, 2005; Belir Baykal, 2006, 2007; Belir Baykal vd., 2004, 2005, 2007; Belir Baykal ve Bayram, 2005) ve struvit çöktürmesi yolu ile gübre etkin maddelerin geri kazanılması (Kabdaşlı vd., 2006; Tünay vd., 2006) çalışmalarından olumlu sonuçlar ve yüksek geri kazanım oranları elde edilmiştir. Bahse konu çalışmalarla ayrıca sarı suyun değerlendirilmesinde çok önemli bir yere sahip olan depolama süresinde gözlenen değişimler, üre hidrolizi ve tuzluluk konuları ile bunları etkileyen faktörlere yönelik önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

TÜBİTAK MAM Kimya ve Çevre Enstitüsü tarafından yürütülen, ECOSAN yaklaşımının da dahil edildiği ZERO-M projesi kapsamında, sıfır deşarj içeren belediyelere yönelik sürdürülebilir kalkınma konsepti üzerinde çalışılmaktadır (TÜBİTAK, 2007; Regelsberger vd., 2007). TÜBİTAK MAM Gebze yerleşkesinin lojman ve hizmet binalarının belli noktalarında evsel atıksuyun çeşitli fraksiyonlarını ayırarak toplayabilen tesisatın yerleştirilmesi ile Türkiye’de

uygulamaya yönelik bir ilk örnek oluşturulmuştur. Aynı kurumda gri su arıtımı ile ilgili çeşitli alternatifler değerlendirilmekte ve özellikle yapay sulak alanlar ve membran biyoreaktörler ağırlıklı olmak üzere döner disk, ardışık kesikli reaktör, yukarı akışlı çamur yatağı gibi çeşitli biyolojik sistemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır (Atasoy vd., 2007).

Sonuç ve öneriler

2000'li yılların önde gelen kavramlarından sürdürülebilirlik kavramı ile yakından ilişkili olan ekolojik evsel atıksu yönetimi ECOSAN önümüzdeki yılların önemli çevre mühendisliği konuları içinde yer almaya aday yeni bir yaklaşımdır. ECOSAN yaklaşımının önemli öngörülerini evsel atıksuyun bir atık değil değerlendirilmesi gereken bir kaynak olduğu ve nütrient döngülerinin tamamlanmasına yönelik gerekliliktir. Bu çerçevede konvansiyonel evsel atıksu sistemlerinde gerek toplama / iletim / taşıma, gerekse arıtım sistemlerine alternatif olarak evsel atıksuyu fraksiyonlarına ayıracak toplama / depolama / taşıma sistemleri ile bu akımları değerlendirecek işleme / arıtma yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla gerek araştırma gerek uygulama alanında geniş yelpazede çok açık bir alan bulunmaktadır. Bugün için evsel atıksu altyapısı mevcut ve düzgün çalışan yerlerde, örneğin büyük kentlerde, varolan sistemlerin tamamen değiştirilip ECOSAN yaklaşımının kullanılmasını beklemek gerçekçi görünmese de, sınırları sürekli genişleyen bu tip kentlerde kurulacak yeni yerleşimlerde ve özellikle de henüz atıksu altyapısı olmayan küçük yerleşimlerle kırsal alanlarda öncelikli olarak uygulanmasının teşvik edilebileceği düşünülmektedir. Bu çerçevede uygulamaya yönelik standartlar ve rehber değerler dahil ECOSAN yaklaşımının çeşitli boyutları ile araştırılarak geliştirilmesi birinci dereceden önem taşımaktadır.

Kaynaklar

Atasoy, E., Murat, S., Baban, A. ve Tırıs, M., (2007). Membrane bioreactor treatment of segregated household wastewater for reuse, *Clean*, **35**, 5, 465-472.

- Bayram, S., (2005). İdrarın gübre olarak değerlendirilmesinde klinoptilolit ile iyon değişiminin yeri, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Belers Baykal, B., (2003). Ion exchange with clinoptilolite: a potential alternative for ammonia recovery from wastewater, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 535-538, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Belers Baykal, B., (2006). Atıksu yönetiminde yeni bir yaklaşım: ECOSAN ve ayrı toplanmış insan idrarının tarımda kullanımı, *Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu ÇEVKOS 2006*, 11-12 Mayıs, Gebze, Kocaeli.
- Belers Baykal, B., (2007). ECOSAN as a recycling/recovery/reuse approach and a suggestion for the processing of separately collected urine for agricultural use, *International Conference on Environment: Survival and Sustainability*, 19-24 Şubat, Lefkoşa, K.K.T.C.
- Belers Baykal, B., Allar, A. D. ve Bozkır, E. D., (2007). ECOSAN yaklaşımı, kaynakta ayrılmış idrarın tarımda uygulanması ve halkın kabulü üzerine bir ön çalışma, *7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji*, 24-27 Ekim, İzmir.
- Belers Baykal, B., Balkanay, C. ve Bayram, S., (2005). A preliminary investigation for the indirect use of human urine for agricultural purposes, *1st IWA-ASPIRE (Asia Pacific Regional Group) Conference*, 10-15 Temmuz, Singapur.
- Belers Baykal, B. ve Bayram, S., (2005). An appraisal of the use of human urine in agriculture, *IWA/IWWA 9th International Conference – ECOSAN India*, Conference Documentation, 138-144, 25-26 Kasım, Bombay, Hindistan.
- Belers Baykal, B. ve Bayram, S., (2007). An investigation of the changes in the characteristics of source separated urine during storage, *Small-Wat07*, 11-15 Kasım, Sevilla, İspanya.
- Belers Baykal, B., Bayram, S., Akkaymak, E. ve Çınar, S., (2004). Removal of ammonium from human urine through ion exchange with clinoptilolite and its recovery for further reuse, *Water Science and Technology*, **50**(6), 149-156.
- Calvert, P., (2003). Bringing ecosan to South Asia, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 323-330, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Calvert, P., (2005). Examples of urban ecosan in India-Urine diverting toilets and reuse, *IWA/IWWA 9th International Conference – ECOSAN India*, Conference Documentation, 6-9, 25-26 Kasım, Bombay, Hindistan.

- Danso, G., Drechsel, P. ve Gyiele, L., (2003). Urban household perception of urine-excreta and solid waste source separation in urban areas of Ghana, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 191-196, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Ganrot Z., (2005). Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture, *Doktora Tezi*, Göteborg Üniversitesi Çevre Bilimi ve Koruması Bölümü, İsveç.
- Höglund, C., (2001). Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated urine, *Doktora Tezi*, Royal Institute of Technology, Biyoteknoloji Bölümü, İsveç.
- Jansen, J. ve Koldby, E., (2003). Problems and potentials for urine separation in a small village with a wastewater treatment plant operated with extended nutrient removal, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 381-388, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Jönsson, H., (2003). The role of ECOSAN in achieving sustainable nutrient cycles, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 35-40, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Kabdaşlı, I., Tünay, O., İşlek, Ç., Erdinç, E., Hüskalar, S. ve Tatlı, M. B., (2006). Nitrogen recovery by urea hydrolysis and struvite precipitation from anthropogenic urine, *Water Science and Technology*, **53**, 12, 305-312.
- Lind, B. B., Ban, Z. ve Byden, S., (2000). Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite, *Biosource Technology*, **73**, 69-174.
- Mes, T. ve Zeeman, G., (2003). Fate of estrogens in wastewater treatment systems for decentralized sanitation and re-use concepts, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 425-429, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Otterpohl, R., Braun, U. ve Oldenburg, M., (2003). Innovative technologies for decentralized water-wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas, *Water Science and Technology*, **48**, 11, 23-31.
- Pinsem, W., Sathreanranon, K. ve Petpudpong, K., (2004). Human urine as plant fertilizer: trial on pot basil, *International IWA Conference on Wastewater Treatment for Nutrient Removal and Reuse*, 174-178, 26-29 Ocak, Bangkok, Tayland.
- Regelsberger, M., Baban, A., Bouselmi, L., Shafy, H. A. ve El Hamouri, B., (2007). Zer0-M, sustainable concepts towards a zero outflow municipality, *Desalination*, **215**, 64-72.
- Simons, J. ve Clemens, J., (2003). The use of separated human urine as mineral fertilizer, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 595-600, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Sridhar, M. K. C., Odusan, S., Coker, A. O., Akinjogbin, I. O. ve Adeoye, G. O., (2003). Urine harvesting through institutional participation: a Nigerian experiment, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 829-834, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, (2007). Kimya ve Çevre Enstitüsü Zer0-M-Sürdürülebilir kalkınma için atıksu yönetimi kurs notları.
- Tünay, O., Kabdaşlı, I., Topçuoğlu, S. ve Tatlı, M. B., (2006). Urea hydrolysis in anthropogenic nutrient solution, *Fresenius Environmental Bulletin*, **15**, 8a, 715-719.
- Vinneras, B., Jönsson, H., Salomon, E. ve Stintzing, A. R., (2003). Tentative guidelines for agricultural use of urine and faeces, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 101-108, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Wafler, M., (2005). Current state of ecosan pilot projects in India supported by GTZ and Secon International, *IWA/IWWA 9th International Conference – ECOSAN India*, Conference Documentation, 265-280, 25-26 Kasım, Bombay, Hindistan.
- Werner, C., Fall, P. A., Schlick, J. ve Mang, H. P., (2003). Reasons for and principles of Ecological Sanitation, *IWA 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, 23-30, 7-11 Nisan, Lübeck, Almanya.
- Werner, C., (2006). ECOSAN Project at the GTZ headquarters at main office building, *4th World Water Forum Mexico City*, 16-22 Mart, Meksika.
- WHO Guidelines, (2006). Excreta and greywater use in agriculture, *The Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, **IV**, İsviçre.