

**Sewage Treatment Systems of Cruise Ships and The Parameters Affect on Dilution of Effluent at Sea**

**Yolcu Gemilerinde Sewage Arıtma Sistemleri ve Atıkların Denizde Seyrelmesine Etki Eden Parametreler**

**Volkan ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Nurten VARDAR<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi 34349 Beşiktaş, İstanbul, TÜRKİYE

**ABSTRACT**

Cruise ships play an inevitable role in tourism sector across the world. Increasing in cruise ship tourism accompanies with significant environmental problems. Due to both size of cruise ships and the amount of passengers and consumables, cruise ships have a great potential for producing considerable amounts of wastes. Various types of wastes are produced in cruise ships depending on the daily consumptions of these wastes. Sewage, which consists mainly the toilet wastes, is the most important problem. Sewage contains various types of heavy metal, chemicals and pathogens that have harmful effects on marine species and ecosystem. Many national and

international regulations and conventions are established in order to prevent the harmful effects of wastes. Studies on preventing and minimizing ship-related pollution contribute to both developing new waste management systems and forming new procedures for removing the wastes in both ship and port. In this study, Marine Sanitation Device (MSD) and Advanced Wastewater Treatment (AWT) and treatment procedures are investigated. 'Dilution factor' obtained by theoretical and experimental studies is explained in detail and variation of dilution factor depending on ship dimensions and velocity is investigated.

**Keywords:** Ship, cruise ship, sewage, treatment plants, MSD, AWT, dilution factor

*Article Info*

Received: 5 March 2015

Revised: 26 May 2015

Accepted: 2 June 2015

---

\* Corresponding Author

*E-mail:* vsahin@yildiz.edu.tr

## ÖZET

Tüm dünyada ‘krvaziyer’ olarak bilinen yolcu gemileri, turizm sektöründe oldukça büyük bir yere sahiptir. Yolcu gemisi turizmi büyüdükçe beraberinde çevresel açıdan büyük sorunlar meydana getirmektedir. Yolcu gemileri, gerek boyutları gerekse taşıdıkları yolcu ve tüketilen madde miktarı açısından dikkate değer oranda atık üretme potansiyeline sahiptir. Bu gemilerde, yolcuların günlük tüketimlerine bağlı olarak çeşitli atıklar meydana gelmektedir. Okyanuslara ve denizlere boşaltılan ve tuvalet/lavabo atıklarından oluşan sewage bu sorunların başında gelmektedir. Gemi kanalizasyonu olarak bilinen sewage içeriğinde deniz canlıları ve ekosistemi için zararlı olan birçok ağır metaller, kimyasal bileşenler ve patojenler bulundurmaktadır. Artan bu kirliliğin, okyanusların ve denizlerin bir çöp yığına dönüşmesini engellemek adına birçok ulusal ve uluslararası düzenlemeler ve sözleşmeler oluşturulmuştur. Gemi kaynaklı kirliliği önleme ve azaltma konusunda yapılan çalışmalar, beraberinde yeni atık arıtım sistemlerinin geliştirilmesine ve atık yönetim sistemi içerisinde hem gemide hem de liman tesislerinde atığın sağlıklı bir şekilde bertarafına yönelik yeni prosedürlerin oluşmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada gemi sewage arıtım sistemleri olan Deniz Sağlığı Koruma Cihazları (Marine Sanitation Device-MSD) ve Gelişmiş Atık Su Arıtma Sistemleri (Advanced Wastewater Treatment-AWT) incelenmiş ve arıtma prosesleri hakkında bilgi verilmiştir. Değişik zamanlarda yapılmış olan deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda bulunan ‘seyrelme faktörü’ hakkında bilgi verilerek seyrelme faktörünün gemi boyutları ve gemi hızına bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gemi, yolcu gemisi, sewage, arıtma sistemleri, MSD, AWT, seyreltme faktörü

### 1. Giriş

Yolcu gemileri, gerek boyutları, gerekse taşıdıkları yolcu ve tüketim madde miktarı açısından dikkate değer oranda atık üretme potansiyeline sahiptir. Yolcu gemisinden denize bırakılan atıklar; pis su, sintine suyu, katı atık ve tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılır. Okyanuslara ve denizlere boşaltılan, tuvalet/lavabo atıklarından oluşan gemi kanalizasyonu (sewage) bu atıkların başında gelmektedir. Gemi kanalizasyonu olarak bilinen sewage, içeriğinde deniz canlıları ve ekosistem için zararlı olan birçok ağır metal, kimyasal bileşen ve patojenler bulundurmaktadır.

Gittikçe artan krvaziyer (turizm amaçlı yolcu gemisi) turizmiyle beraber, sewage atıklarının deniz açısından büyük sorunlar meydana getireceği, yapılmış olan çeşitli çalışmalarla ortaya çıkmıştır. Bu konuyla ilgili en önemli kaynaklardan biri Gemilerden Oluşan Deniz Kirliliğinin Önlenmesi için Uluslararası Konvansiyon (MARPOL 73/78)’dur (MARPOL, 2015). Amerika Çevre Koruma Ajansı EPA (The United States Environmental Protection Agency) bu konuda önemli çalışmalar yapmış ve sonuçları yayınlamıştır. EPA (2008), özellikle Alaska bölgesinde sewage boşaltımlarının değerlendirme ve düzenlenmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirmiştir. Gemi kaynaklı kirliliği

önleme ve azaltma konusunda yapılan bu çalışmalar, hem gemide hem de liman tesislerinde atıkların sağlıklı bertarafına yönelik yeni prosedürlerin oluşmasına ön ayak olmuştur. Alaska'da 29 gemi için yapılan araştırmaya göre, bu gemilerden sadece birinde tuvalet temizliği için deniz suyu kullanıldığı ve her bir tuvalet temizliği için ortalama 3 – 3.5 litre deniz suyu harcandığı saptanmıştır. Diğer 28 gemide ise her bir tuvalet temizliği için ortalama 1 – 1.1 litre, deniz suyundan farklı suyun kullanıldığı tespit edilmiştir. Bir gemi tarafından üretilen sewage miktarı 80.000 litre/gün ve kişi başına 32 litre/gün olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca gemideki yolcu sayısı ile üretilen pis su miktarının arasında bir ilişki olmadığı da ortaya çıkarılmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, yapılan araştırmalar sonunda, gemilerden sewage boşaltım prosedürleri belirlenmiş ve özellikle Amerika Birleşik Devletleri sularındaki yolcu gemilerinin, yasalarla yetkilendirilen kuruluşlar tarafından denetlenmesi sağlanmıştır. Bu kuruluşlar, gemilerde kullanılan ekipman özelliklerini, sewage'in arıtım öncesi ve sonrası içeriklerini ve standartlara uyup uymadığını, boşaltım yapılacak alanın karadan uzaklığını ve boşaltım sırasında geminin minimum hızı gibi faktörleri denetlemektedir (EPA, 2008).

## **2. Gemilerde Kullanılan Sewage Arıtım Sistemleri**

Sewage arıtımında kullanılan sistemler çalışma prensiplerine göre Klasik Sistem (MSDs - Traditional Marine Sanitation Devices) ve Gelişmiş Atık Su Arıtım Sistemleri (AWTs - Advanced Wastewater Treatment Systems) olmak üzere iki tiptedir.

### **2.1. Klasik Sistemler**

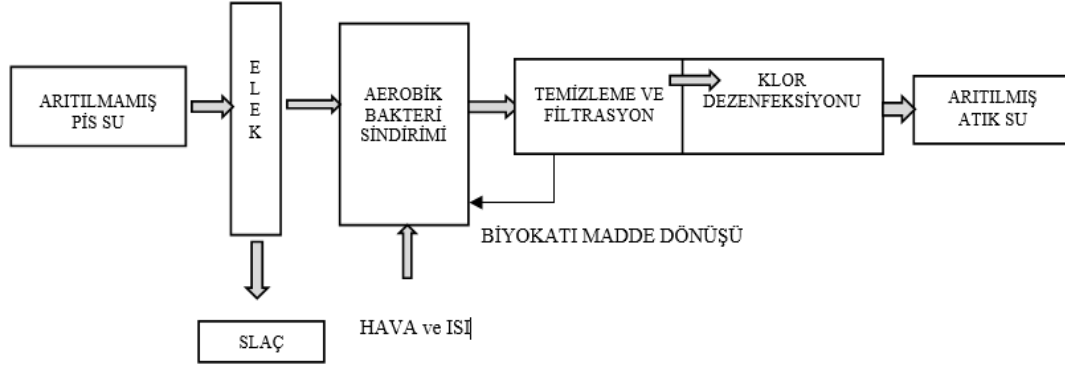
Klasik Sistem (MSD) sewage'i toplamak, işlemek, arıtmak, depolamak ve muhafaza

etmek için kullanılır. Çalışma prensiplerine göre Tip I, Tip II ve Tip III olarak adlandırılan, birbirleriyle benzerlikleri olan 3 farklı tiptedir. Tip I ve Tip II sistemleri devamlı sirkülasyon yöntemiyle, maserasyon (ıslatarak yumuşatma) ve dezenfeksiyon yöntemini kullanmaktadır. Tip II sisteminde Tip I'den farklı olarak biyolojik arıtma yapılır. Tip III sistemi ise sewage'in kara veya deniz tesisine gönderilene kadar depolanması için gerekli ve uygun tanklardan oluşur. Tip I ve Tip II sistemi 20 metreden büyük gemilerde kullanılırken, Tip III sistemi her büyüklükteki gemi için kullanılabilir. Yolcu gemilerinin çoğunda biyolojik arıtma ve klorlu dezenfeksiyon uygulanan Tip II MSD sistemleri arıtmada daha etkilidir. Buna karşın ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan Gelişmiş Atık Su Arıtım Sistemleri AWTs kullanılmaktadır (EPA, 2008; Kobojević ve Kurtela, 2014).

### **2.1.1. Tip II MSD Sistemleri**

Şekil 1'den görüldüğü gibi Tip II MSD arıtım sistemi, biyokimyasal oksijen ihtiyacını ve bazı nütrientleri (gıda maddelerini) bertaraf etmek için aerobik biyolojik arıtma, temizleme, katı atık bertarafı için filtreleme ve son olarak patojenleri (hastalığa neden olan her türlü organizma ve maddeleri) yok etmek için klor dezenfeksiyonu yöntemi kullanılmaktadır. Klor, sisteme ya eklenmekte (sodyum hipoklorin) ya da klor üretimi için deniz suyu ile karıştırılan pis su elektrolit hücreler arasından geçirilmektedir (EPA, 2008; Kobojević ve Kurtela, 2014). Maserasyon – klorlama sistemleri katı parçacıkları bertaraf etmek için eleme yöntemini kullanmaktadır. Maserasyon katı parçacıkları küçültmek için kullanılırken, klor dezenfeksiyonu

yöntemi atığı oksitleme ve dezenfekte etmek için kullanılmaktadır.

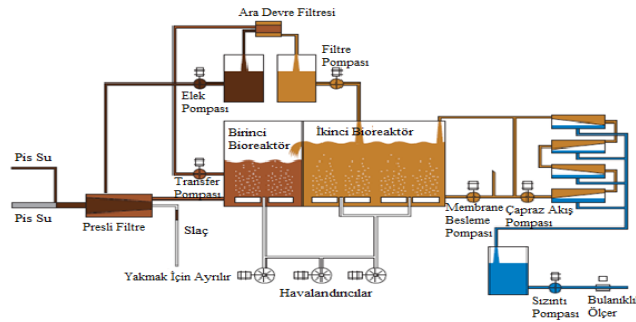


Şekil 1. Biyolojik arıtma ve klor dezenfeksiyonu kullanan Tip II MSD sistem şeması (EPA, 2008).

## 2.2. Gelişmiş Atık Su Arıtma Sistemleri

Pis su arıtma sistemlerinde katıları ortadan kaldıran fiziksel proses, organik maddeleri çürütmek için bakteri kullanılan ikinci proses ve atık suyu dezenfekte etmek için klorlama aşamaları bulunur. Klasik arıtma sistemleri, ikinci prosesten sonraki potansiyel kirleticiler; ağır metaller, nütrienler ve biyolojik olarak parçalanamayan organik kimyasalların ortadan kaldırılmasında standart değerleri karşılayamadığından, yatırım Tip II MSD sistemleriyle karşılaştırıldığında AWT sistemlerinde gelişmiş eleme, biyolojik

arıtma, katı atık ayrıştırıcı ve ultraviyole dezenfeksiyon yöntemleri kullanılmaktadır. Atık su içindeki klor miktarını azaltmak için arıtılmış pis suyun (sewage ve graywater) dezenfeksiyonu için AWT sisteminde, Tip II MSD sisteminde kullanılan klor dezenfeksiyon yöntemi yerine ultraviyole dezenfeksiyon yöntemi kullanılmıştır. UV dezenfeksiyon yöntemine geçmek, AWT sisteminden çıkan atık sudaki toplam kalıntı klor miktarında azalmaya sebep olmuştur (EPA, 2008). Şekil 2’de AWT sistemine ait örnek bir akış şeması verilmiştir.



Şekil 2. AWT Sistem Örnek Şeması (Hamworthy Membrane Bioreactor Kataloğu, 2015).

AWT sistemlerinde atık, iri parçacıklı katılardan arındırılmak için elekten geçirildikten sonra, aerobik biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır. Bu arıtım prosesinden sonra AWT sistemini, MSD sistemine göre daha üstün yapan ultra filtreleme ve ultraviyole dezenfeksiyon aşamaları gelmektedir. 2000 yılında Alaska sularında çalışan 21 tane yolcu gemisinden toplanan veriler ile yapılan analizler sonucunda askıdaki toplam katı madde (total suspended solid), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (biochemical oxygen demand), kimyasal oksijen ihtiyacı (chemical oxygen demand), pH, dışkı (fecal coliform) ve serbest klor kalıntısı (free residual

chlorine) incelenmiştir. Tablo 1’de Tip II MSD ve AWT sistemlerinin sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. AWT sisteminden çıkan atık suyun MSD sisteminin atık suyuna oranla çok daha az konsantrasyonlarda kirletici madde içerdiği görülmektedir. Özellikle yolcu gemilerinde çok miktarda açığa çıkan sewage, farklı arıtma sistemleriyle arıtılsa da içinde bulundurduğu kirletici maddelerle potansiyel çevresel risk oluşturmaktadır. Gemiden denize bırakılan sewage atığının denize en az zararı vermesi için mümkün olan en kısa zamanda seyreltiminin sağlanması önemlidir.

Tablo 1. AWT ve Tip II MSD sistemi atık su kirletici konsantrasyon değerleri (EPA, 2008; Science Advisory Panel for Commercial Passenger Vessel Wastewater Discharge, 2015).

| Analit                               | Tip II MSD Sistemi Atık Suyunun Ortalama Konsantrasyonu | AWT Sistemi Atık Suyunun Ortalama Konsantrasyonu |
|--------------------------------------|---|--|
| Dışkı (CFU/100 ml)                   | 2,040,000   | 14.5   |
| Askıdaki Toplam Katı Miktarı (mg/l)  | 627 ( $\pm$ 94.3)                                       | 4.49 ( $\pm$ 0.0385)                             |
| Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l) | 133 ( $\pm$ 15.2)                                       | 7.99 ( $\pm$ 0.798)                              |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)     | 1,040 ( $\pm$ 271)                                      | 69.4 ( $\pm$ 4.03)                               |
| pH                                   | 6.0-9.0   | 6.0 -9.0   |
| Toplam Atık Klor ( $\mu$ g/l)        | 1,070 ( $\pm$ 499)                                      | 0.338 ( $\pm$ 0.129)                             |

### 3. Atığın Deniz Suyunda Seyrelmesi ve Seyrelme Faktörü

Bu konuda yapılan teorik ve deneysel araştırmalar, seyrelmenin deniz suyu sıcaklığı, tuzluluğu gibi faktörlerle beraber bırakılan atığın debisi, geminin hızı, draftı ve genişliğine bağlı olduğunu

ve gemi pervanesi ile gemi hareketinin meydana getirdiği karıştırma olayının, gemiden atılan suyun seyreltilmesinde önemli bir rolü olduğunu göstermiştir. Gemilerin iz bölgesinden alınan numunelerin incelenmesi ile atık su derişiminin bu seyreltmeye bağlı olarak

önemli ölçüde azaldığı görülerek, 500 yolcu kapasiteli ve daha büyük yolcu gemileri için bir seyrelme faktörü denklemi geliştirilmiştir (2,5-9).

$$SF = ( B \times T \times V ) / Q \quad (1)$$

Değişik zamanlarda yapılan deneysel çalışmalarla bulunan seyrelme faktörü ile Denklem 1 ile tahmin edilen seyrelme faktörü arasında 0.9, 4.2, 4.5, 4.7, 5.1, 5.3 ve 6.5 kat fark olduğu ve bu farkın geminin hızı, genişliği, draftı ve atık su boşaltım debisi gibi değerlerin her gemi için farklı olmasından kaynaklandığı kabul edilerek, formüle '4' çarpanının eklenmesine (Denklem 2) ve bu şekilde kullanılmasına karar verilmiştir (7).

$$SF = 4 \times ( B \times T \times V ) / Q \quad (2)$$

Değişik çalışmalarda incelenmiş olan 4 farklı gemi için ölçülen ve hesaplanan seyrelme faktörleri Tablo 2'de verilmiştir. Hareket halindeki büyük ve küçük gemiler arasında benzer hidrolik karakteristikler görülebileceğinden, aynı çalışmaların sonucunda Denklem 1' in küçük gemilerin arkasındaki derişimleri hesaplamak için değişik çarpanlarla kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Ancak önemli bir kirletici yoksa çarpan faktörü olarak küçük yolcu gemilerinde, Denklem 2' deki 4 katsayısı yerine 3 katsayısı kullanılmalıdır (7).

$$SF = 3 \times ( B \times T \times V ) / Q \quad (3)$$

Tablo 2'de görüldüğü gibi gemi hızı, genişliği ve draftı (su çekimi) arttıkça seyrelme faktörü artmaktadır. Artan seyrelme faktörü, gemi arkasında atık su konsantrasyonunun kısa zamanda seyreltilmesine olanak sağlayacaktır.

Tablo 2. Seyrelme Faktörlerinin Karşılaştırılması (Science Advisory Panel and Alaska Department of Environmental Conservation, 2015).

| Gemi Adı                            | Majesty | Explorer | Paradise | Fascination |
|-------------------------------------|---------|----------|----------|-------------|
| Genişlik (m)                        | 32.6    | 38.6     | 31.4     | 31.4        |
| Draft (m)                           | 7.7     | 8.8      | 7.75     | 7.75        |
| Hız (m/s)                           | 8.96    | 9.78     | 7.72     | 4.68        |
| Boşaltım Debisi (m <sup>3</sup> /s) | 0.031   | 0.016    | 0.019    | 0.020       |
| Seyrelme Faktörü                    | 289,031 | 854,309  | 397,918  | 227,992     |

#### 4. Sonuç

Yolcu gemisi kaynaklı sewage atıklarının ekosisteme vermiş oldukları zararı en aza indirmek için geliştirilmiş olan arıtma sistemleri atık su içindeki kirletici madde ve organizmaların önemli bir kısmını etkili bir biçimde temizlemekle beraber sistemlerin 100% arıtma yapabilmesi ve her türden kirliliği arıtabilmesi mümkün değildir. Arıtma sisteminin özelliklerinin

gelişmiş olması arıtma işleminin verimini artıracak ve denize bırakılan atık suyun daha temiz olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle özellikle büyük yolcu gemilerinde AWTs kullanılması gereklidir. Atık su arıtma sisteminin verimine bağlı olmakla beraber denize bırakılan atık suyun mümkün olan en kısa zamanda deniz suyunda seyrelmesini sağlamak deniz

ekolojisi açısından önemlidir. Seyrelme faktörü hesaplamasında kullanılan denklemlerde görüldüğü gibi geminin genişlik, draft gibi geometrik boyutları ile birlikte gemi hızının da önemli bir faktör

olduğu açıktır. Bu nedenle gemiden atık suyu boşaltılması işlemi gemi hareket halindeyken yapılmalı kesinlikle durağan halde iken atık su boşaltılmasına izin verilmemelidir.

## 5. Kaynaklar

Annex IV of MARPOL 73/78, Regulations for the Prevention of Pollution by Sewage from Ships, 20.01.2015 tarihinde [http://www.mpa.gov.sg/sites/circulars\\_and\\_notices/pdfs/shipping\\_circulars/mc03-18a.pdf](http://www.mpa.gov.sg/sites/circulars_and_notices/pdfs/shipping_circulars/mc03-18a.pdf) adresinden alınmıştır.

EPA, United States Environmental Protection Agency, Cruise Ship Discharge Assessment Report, December 29, 2008.

Kobojević, Ž., Kurtela, Ž., Comparison of marine sewage treatment systems , 24.12.2014 tarihinde [https://bib.irb.hr/datoteka/570916.COMPARISON\\_OF\\_MARINE\\_SEWAGE\\_TREATMENT\\_SYSTEMS.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/570916.COMPARISON_OF_MARINE_SEWAGE_TREATMENT_SYSTEMS.pdf) adresinden alınmıştır.

Hamworthy Membrane Bioreactor Kataloğu, 03.02.2015 tarihinde <http://www.hamworthy.com/PageFiles/205/Membrane%20Bioreactor%20BROCHURE.pdf> adresinden alınmıştır.

Science Advisory Panel for Commercial Passenger Vessel Wastewater Discharge, Report to The Alaska Cruise Ship Initiative. Near Field Dispersion of Wastewater Behind a Moving Large Cruise Ship, 02.04.2015 tarihinde

[http://dec.alaska.gov/water/cruise\\_ships/pdfs/dispersion\\_of\\_ww\\_report.pdf](http://dec.alaska.gov/water/cruise_ships/pdfs/dispersion_of_ww_report.pdf) adresinden alınmıştır.

Loehr, L., Beegle-Krause, C. J., George, K., McGee, C., Mearns A., Atkinson, M., (2006). The significance of dilution in evaluating possible impacts, *Marine Pollution Bulletin*, 52: 681 – 688.

Science Advisory Panel and Alaska Department of Environmental Conservation, The Impact of Cruise Ship Wastewater Discharge on Alaska Waters, Report on Commercial Passenger Vessel Environmental Compliance Program, Section I, 11.04.2015 tarihinde

[http://dec.alaska.gov/water/cruise\\_ships/pdfs/impactofcruiseship.pdf](http://dec.alaska.gov/water/cruise_ships/pdfs/impactofcruiseship.pdf) adresinden alınmıştır.

Loehr, L., Atkinson M., George, K., Beegle-Krause, C. J., 2003. Using a Simple Dilution Model to Estimate Wastewater Contaminant Concentrations Behind Moving Passenger Vessels, OCEANS 2003, Vol.1, 390-393, San Diego, CA, USA.

Heinen, E., Potts, K., Snow, L., Trulli, W., Redford, D., 2003. Dilution of wastewater discharges from moving cruise ships, OCEANS 2003, Volume 1, 386-389, San Diego, CA, USA.

## Sembol Listesi

|    |  |
|----|--|
| SF | : Seyrelme Faktörü                         |
| B  | : Geminin Genişliği (m)                    |
| T  | : Geminin Draftı (m)                       |
| V  | : Geminin Hızı (m/s)                       |
| Q  | : Atık Boşaltma Debisi (m <sup>3</sup> /s) |