

Deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemlerde zehirlilik ile kirletici parametreler arasındaki ilişki

Elçin (HEPSAĞ) GÜNEŞ*, İlhan TALINLI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

*Endüstrileşmenin hızlı olduğu bölgelerde, akışı sürekli olmayan, tatlı su miktarı genellikle yağışlarla orantılı olan ve deşarjlar için alıcı ortam olarak kullanılan nehir ve dereler atıksu kanalları haline gelebilmektedir. Bu su kaynakları deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemler olarak sınıflandırılarak, farklı şekilde yönetilmesi gereken sistemlerdir. Bu çalışma, böyle nehir ve nehir kollarına sahip, endüstrileşmenin çok hızlı gerçekleştiği ve yaklaşık 1000 endüstrinin arıtılmış veya arıtılmamış deşarjlarını alan Ergene Nehri ve kollarında yapılmıştır. Çok karmaşık özellikteki birçok deşarj alan bu nehir ve nehir kollarının, kirlenme durumlarına bağlı olarak zehirliliklerinin belirlenmesi sürdürülebilir kullanımlarının sağlanabilmesi ve yönetimlerinin doğru şekilde yapılması için önemli bir veri sağlayacaktır. Bu çalışmada bu nehir ve nehir kollarından numuneler alınmış ve kirletici parametreler ile *Vibrio fischeri* organizmasına zehirlilik etkileri ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarında, bölgedeki özellikle deşarj-bağımlı sistemlerin kimyasal parametreler ve zehirlilik açısından oldukça etkilenmiş oldukları görülmüştür. Referans bölge olarak seçilen su kaynağının kimyasal parametreler ve zehirlilik açısından kirlenmediği, en çok kirlenmiş bölgenin tekstil ağırlıklı organize sanayi ve deri organize sanayi ile daha birçok endüstrinin deşarjlarını birlikte alan ve deşarj-bağımlı bir sistem olan Çorlu Deresi ile bir kolu olan Sinandede Deresi olduğu görülmüştür. *Vibrio fischeri* test organizmasının zehirliliğine neden olan parametreler istatistiksel analizler yapılarak belirlenmiş ve çoklu regresyon analizi kullanılarak regresyon modeli kurulmuştur. Kurulan regresyon modeline göre zehirlilik ölçütlerinden olan EC_{10} değeri en çok Çözünmüş Oksijen (ÇO), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Çözünmüş Maddelerden(TÇM) etkilenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: Deşarj-bağımlı sistemler, deşarj-ağırlıklı sistemler, *Vibrio fischeri*, zehirlilik.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Elçin (HEPSAĞ) GÜNEŞ, ehpsag@corlu.edu.tr; Tel: (282) 652 94 75.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Havzalar için zehirlilik parametresi ile deşarj etki indeksi geliştirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 06.06.2009 tarihinde dergiye ulaşılmış, 10.03.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

The relationship between chemical parameters and toxicity in effluent - dependent and effluent - dominated systems

Extended abstract

Effluent - dependent and effluent - dominated systems here we call them effluent – dependent / dominated systems are defined as surface water consist primarily of discharge wastewater and/or runoff from urban and agricultural areas. An effluent - dominated stream contains more effluent than receiving water (> 50% effluent). An effluent - dependent stream is 100 % effluent and would cease flow if anthropogenic sources were to stop discharging. Effluent – dependent / dominated systems have many different properties than natural water bodies as most characteristics of them are dependent on human activities. Mostly without the human generated flow, some effluent - dependent / dominated rivers would be ephemeral. The two major characteristics of such these systems are an increase in pollution and an increase in dry weather base flow. Effluent – dependent / dominated rivers described in this study are in heavily industrialized area. The study area-Ergene River Basin- is situated in the north west of Turkey in Thrace Region. This basin is one of the biggest basins in the region. It has 11.325 km² drainage areas and Ergene River and its branches collects waters of the watershed and discharges and this basin have effluent -dependent and effluent - dominated streams. In the basin, rapid industrialization caused many problems to environment quality of the waters in recent years. Total about 1000 industries wastewater effluents in the region are flushed directly into the river and streams. Some branches of the river have intermittent flow in dry seasons. So sometimes these streams receive little or no upstream dilution and effluents may comprise the majority of stream flows. In the basin, Ergene River is effluent - dominated and Çorlu and Sinandede streams are effluent - dependent streams. Çorlu stream and Ergene River are important, because they collect complex discharges of textile and leather industries, various industries wastewaters and municipal wastewaters. A field survey is conducted to detect a relationship between chemical parameters and toxicity in the river and streams samples. Understanding relationship of these systems is critical for maintaining water quality and offers challenges in regulatory permitting and moni-

toring. And these data could be used for proper management of such these systems in similar basins.

*In the current study toxicity of samples were determined with reconstituted freeze-dried bacteria called *Vibrio fischeri*. All calculations to determine percent inhibition effect (INH %) was performed with the Biotox™ Software (Aboatox, Turku, Finland). Chemical parameters for wastewater samples included pH, Dissolved Oxygen (DO), Total Dissolved Solids (TDS), Temperature (T), Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Phosphate (TP), Total Sulfide (TS), Ammonium Nitrogen (NH₃-N), Total Suspended Solids (TSS) and heavy metals were determined. After the results of the experiments, cause-effect relationship between chemistry and toxicity, ambient quality of effluent – dependent / dominated systems and degree of necessity of toxicological data for point sources pollution control were determined in effluent – dependent / dominated systems. For all cases data are presented as mean ± S.E. After assessment of the data it is found that Çorlu and Sinandede stream are the most polluted waters regarding to chemical and toxicological parameters. It is supposed that toxicity is caused by complex discharges. Because those streams collected the textile organized and the leather organized areas and lots of the other industries wastewaters. The Ergene stream which is chosen as reference ambient water wasn't polluted in respect of chemical parameters and, because of this result, it is supposed that it didn't show toxicity to *Vibrio fischeri*. Statistical analyses were conducted to understand chemistry-toxicity relationship between EC₁₀ and various chemical parameters. Statistical analyses are done by using SPSS 13.0 statistic programme. Significant correlations were observed between EC₁₀ values and COD, DO and TDS. The present study suggested that COD and TDS can be assumed as a good indicator of the potential toxicity of ambient waters of such these effluent – dependent / dominated systems. After multiple regression analyses, the data of COD, DO and TDS which have smaller than 0.01 P-values elected for setting multiple regression model. R² of the model was 0.95.*

It was concluded that toxicity testing is a useful tool supplementing chemical analyses of the potential hazard from point sources in effluent – dependent / dominated rivers.

Keywords: *Effluent - dependent systems, effluent - dominated systems, *Vibrio fischeri*, toxicity.*

Giriş

Akışı ve debileri çoğunlukla yağışlarla orantılı olan su kaynakları endüstrilerin yoğun olduğu bölgelerde deşarjlar için alıcı ortamlar olarak kullanıldığında, kaliteleri deşarjlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Söz konusu sistemlerin hidrolojik özellikleri, su kaliteleri, ekolojik özellikleri farklı şekilde ele alınmakta ve modelleme ve yönetimleri farklı şekilde yapılmaktadır. Bu tip sistemlere deşarj-bağımlı sistemler (effluent-dependent systems) ve deşarj-ağırlıklı sistemler (effluent-dominated systems) adı verilmektedir (Brooks vd., 2006; Mladenov vd., 2005). Adı geçen bu sistemlerin tanımları aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (Novotny, 2007):

—*Deşarj-ağırlıklı sistemler*: Bu sistemlerde yılın büyük bir bölümünde (en az 183 gününde) nehrin sularının %50'sinden fazlasını atıksu deşarjları oluşturmaktadır. Bu sistemlerin kesikli akması zorunlu değildir.

—*Deşarj-bağımlı sistemler*: Yüksek yağışlar sırasında sürekli, bunun dışında kesikli akışa sahip ve sürdürülebilirliğinin deşarjlarla sağlandığı sistemlerdir. Deşarj-bağımlı sistemleri deşarj-ağırlıklı sistemlerden ayıran en önemli özellik bu sistemlerde sudaki yaşamın deşarjlarla sürmesidir.

Kentleşme ve sanayileşmenin hızla artışı, endüstriyel ve evsel atıksuların arıtma sonrası veya arıtılmadan su kaynaklarına deşarjlarını artırdığından, dünyanın birçok bölgesinde deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı nehirler atıksu deşarjlarını toplayan kanallara dönüşmüşlerdir. Noktasal kirletici kaynak deşarjlarının yanında kent sel yağmur suları, sediment kirliliği ve yeraltı suyu tablasının düşüşü de bu sistemleri etkilemektedir. Bu sistemlerin en önemli iki özelliği kirliliğin yüksek olması ve kurak zamanlarda atıksu deşarjları özelliklerini göstermesidir. Atıksu deşarjları kurak zamanlarda bu sistemlerdeki su akışını artırmaktadırlar. Bu akışı oluşturan deşarjlar genellikle nutrientler, amonyak ve organik maddeler açısından kirletilmişlerdir (Onnis-Hayden vd., 2006).

Akışların çoğunlukla deşarjlardan oluştuğu ve çok karmaşık özellikteki atıksuları taşıyan bu tip

sistemlerde kirletici parametre analizlerinin yanında zehirlilik parametresine de bakılması ve bu parametreler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, bu sistemlerin yönetimleri açısından oldukça önemlidir. Literatürde Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Fosfor (TP), Toplam Sülfür (TS), Amonyum Azotu (NH₃-N), Askıda Katı Madde (AKM) ve ağır metaller gibi kirletici parametreler ile zehirlilik ilişkilerinin araştırıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda zehirlilik etkisi, canlı topluluğunun %50'sini etkileyen efektif konsantrasyon (EC₅₀) veya 100/EC₅₀ olarak ifade edilen zehirlilik birimleri (TU) şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmalara ayrıntılı bir şekilde aşağıda değinilmektedir.

Endüstriyel atıksuların arttığı bir aktif çamur prosesinin giriş ve çıkışından alınan numunelerde kirletici parametrelerden BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve NH₃-N parametreleri ile *Daphnia pulex* ve *Lactuca siva*'ya zehirlilik etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında sadece arıtma tesisi çıkışından alınan numunelerde zehirlilik ile KOİ ve azotlu maddeler arasında kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir (Sánchez-Meza vd., 2007).

Pivato ve Gaspari (2006)'nin yaptıkları bir çalışmada ise sızıntı suyunda *Vibrio fischeri* organizması'na zehirlilik etkisi ve çeşitli kirletici parametreler (KOİ, BOİ₅, TKN, pH, iletkenlik, sertlik, NH₃-N, TP, Cl⁻, SO₄²⁻, F⁻, As, Cd, Be, Co, Cr, Mn, Zn, Ca, Mg, Na vb.) analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda KOİ, NH₃ ve 15 dk'luk zehirlilik birimi (TU:100/EC₁₅) ölçümleri (TU15) arasında kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. Ağır metallerin zehirlilik deneyinde 30 dk'luk temas süresi sonrasında tepki verdiği görülmüştür. KOİ, NH₃ ve TU15 arasındaki ilişkinin denklemi, regresyon analizi sonrasında R²= 0.99 olmak üzere, aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$TU15 = 2.157 \log KOİ + 11.275 \log NH_3 - 31.180 \quad (1)$$

22 farklı sızıntı suyunun çeşitli organizmalara (mikroalgler, su pireleri, rotiferler, protozoalar, kabuklular, luminesans bakteriler) zehirlilik etkisinin ve kirletici parametrelerin (KOİ, NH₃,

organik azot, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Fe, Zn, Cu vb.) analiz edildiği bir çalışmada alkalinite, KOİ ve NH₃ parametrelerinin zehirliliği arttırdıkları bulunmuştur. Bu organizmalardan luminesans bakterinin organik yüklemelere en hassas bakteri olduğu belirlenmiştir. Basit ve çoklu regresyon analizleri sonuçlarında NH₃ ve alkalinite ile zehirlilik ilişkisinin kuvvetli olduğu belirtilmiştir (Bernard vd., 1997).

Literatürde zehirlilik ile TÇM ilişkisinin araştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalar iyonik dengesizliklerin oluşturduğu anyon ve katyonların, akut ve kronik zehirliliğe başka bir toksik madde olmasa da neden olabildiğini göstermiştir. Bir çalışmada TÇM'lerin tatlı su organizmalarında zehirliliğe neden olması değişen osmotik basıncın organizmanın osmotik basıncı düzenleme kapasitesini etkilemesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (McCulloch vd., 1993). Mount ve diğerlerinin (1997) yaptıkları çalışmada yüksek çözünmüş maddeye sahip sularda zehirlilik ile sudaki iyonik maddeler arasında ilişki bulunmuştur. Çalışmada TÇM, iletkenlik, tuzluluk gibi kolektif parametrelerin zehirlilik ilişkisinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu belirtilmiştir.

Ülkemizde havzalarda deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemlerin olup olmadığı araştırılmakta ve deşarjların yoğun olduğu bölgelerde alıcı ortamların nasıl etkilendiği ve zehirlilikleri konusunda araştırmalar yapılmamaktadır. Bu çalışma deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemlerin yer aldığı, endüstrilerin çok yoğun olduğu ve nehir ve derelerin bir atıksu kanalı gibi kullanıldığı, yaklaşık 1000 adet endüstrinin deşarjını alan Ergene Havzası'ndaki su kaynaklarında yapılmıştır. Çalışmada Ergene Havzası'nda bulunan Ergene Nehri ve kollarından numuneler alınarak fiziksel-kimyasal karakterizasyonları ile *Vibrio fischeri* biyoluminesans inhibisyon testi ile zehirlilik analizleri yapılmıştır. Çalışmada zehirliliğe neden olan kirletici parametrelerin tayini hedeflenmiş, zehirlilik ile kirletici parametreler arasındaki korelasyonlar belirlenmiş ve korelasyonların en yüksek olduğu parametreler kullanılarak regresyon modeli kurulmuştur. Bulunan bu sonuçlara dayanarak

endüstrilerin yoğun şekilde bulunduğu deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı nehirlerde kirletici parametrelerle zehirlilik ilişkisinin belirlenmesi ve bu bilginin bu sistemlerin yönetimi için kullanılması hedeflenmiştir.

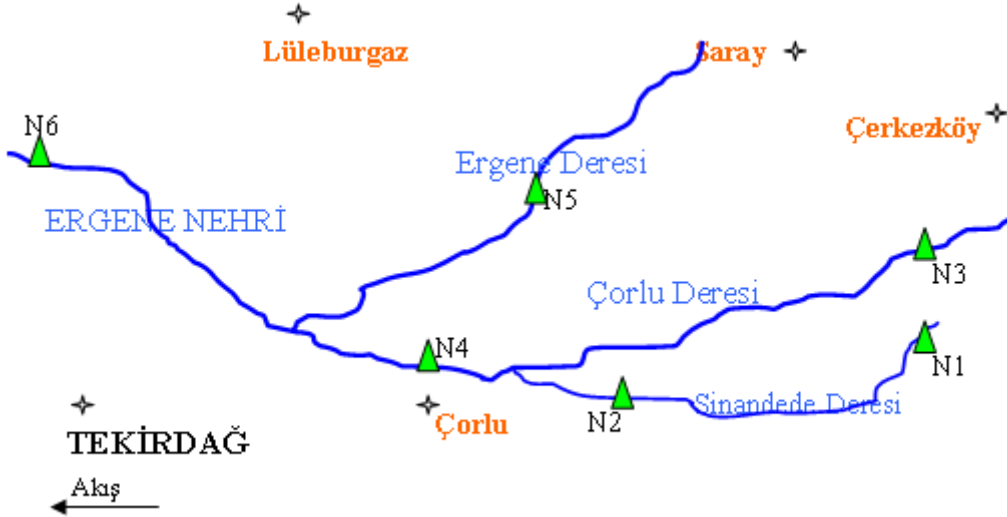
Materyal ve yöntem

Numune alma bölgesi

Numune alma bölgesi olan Ergene Havzası, Trakya'da Kuzey Marmara Havzası, Meriç Havzası ve Bulgaristan sınırı ile çevrilidir. Meriç Nehri'nin en önemli kolu olan ve Ergene Havzası'nda yer alan Ergene Nehri, Ergene Deresi adıyla Yıldız dağlarının 312 rakımlı Taşpınar Tepesi civarındaki Güneşkaya mevkiindeki kaynaklardan doğmakta ve güneye doğru inmektedir. İnanlı yakınlarında Çorlu Deresi'ni alarak Ergene Nehri adı altında kuzeybatıya dönmektedir. Havzada yer alan endüstrilerden günlük olarak 228 250 m³ su artırılarak veya artılmaksızın Ergene Nehri'ne deşarj edilmektedir (TBMM Raporu, 2002). Ergene Nehri'nin en önemli kolu, tekstil ve deri organize sanayi, gıda, kimya, boya gibi birçok endüstrinin deşarjlarını alan ve kurak zamanlarda akışı olmadığından deşarj-bağımlı bir sistem olarak değerlendirilmesi gereken Çorlu Deresi'dir. Derelerdeki ve Ergene Nehri'ndeki zehirliliği belirlemek amacıyla en kirli kollarından olan ve deşarj-bağımlı sistemler olarak değerlendirilmesi gereken Çorlu Deresi ve Sinandede Deresi'nin çeşitli noktalarından numuneler alınmıştır. Ergene Nehri'nin kirlenmemiş durumundaki kalitesinin belirlenmesi amacıyla Ergene Deresi'nin kaynağına yakın bir noktadan ve tüm deşarjların etkilerinin görülebilmesi için deşarj-ağırlıklı sistem olarak değerlendirilmesi gereken Ergene Nehri'nden numuneler alınmıştır. N1-N6 arasında numaralanmış olan numune alma yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Numune alma yöntemleri

Atıksu numuneleri grab numuneler olarak 2 L'lik asitle yıkanmış polietilen şişelerde alınmıştır. Dereler ve nehirten alınan numuneler Mart 2006-Haziran 2007 arasında toplanmıştır. Tüm numuneler alındıktan sonra +4°C'de buzdolabında Standart Metotlara (APHA, 1992) göre korunarak saklanmış ve mümkün olan en kısa



Şekil 1. Numune alma noktaları

sürede analiz edilmişlerdir. Atıksuların zehirlilik analizleri de mümkün olan en kısa sürede yapılmıştır.

Numunelerin karakterizasyonu

Kirletici parametrelerin ölçümü- Su ve atıksulardaki pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO), TÇM ve sıcaklık gibi parametrelerin ölçümleri yerinde arazi ölçekli aletlerle yapılmıştır. BO₅, KOİ, TP, TS, NH₃-N ve AKM gibi parametreler Standart Metotlara göre analiz edilmişlerdir. Renk parametresi atıksular 0.45 µm'lik membran filtrelerle süzöldükten sonra 340 nm'de UV visible AQUAMATE spektrofotometre ile ölçülmüştür. Numunelerin ağır metal analizleri için Standart Metotlar'daki 3030E parçalama prosedürü kullanılmıştır. Bu prosedüre göre parçalama nitrik asitle yapılmıştır. Parçalanmış numunelerdeki ağır metal analizleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS, Unicam 929) ile gerçekleştirilmiştir (APHA, 1992).

Zehirlilik ölçümleri- Zehirlilik deneyleri *Vibrio fischeri* bakterisini kullanan BioTox™ kiti kullanılarak yapılmıştır. Bu test zehirlilik ölçme prosedürü ISO 11348-3 standardına göre yapılmaktadır (ISO 11348-3). Bu standartta herhangi bir atıksuyun, sedimentin veya toprak numunesinin ışık yayan bir bakteri olan *Vibrio fischeri*'ye olan zehirliliği, numunelerin çeşitli

seyreltilerinin 5-30 dk'lık maruz kalma sürelerine bağlı olarak ışık yayma özelliğinin inhibisyonu ölçülerek bulunmaktadır. Standart test belli bir inkübasyon süresi sonunda optik yoğunluğun ölçümü ile çoğalmanın inhibisyonunu belirlemektedir. Bu testte çoğalmanın inhibe olduğu durum EC₅₀ değeri ile ifade edilmektedir. EC₅₀ değeri, sıcaklığa ve maruz kalma süresine bağlı olarak ve hiç toksik madde bulunmadığı ortam referans alınarak ışık şiddetinin %50 düştüğü konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır. Bu deneyde inhibisyon yüzdesi aşağıdaki bağıntılarla belirlenmektedir:

$$KF = \frac{IC_{15}}{IC_0} \quad (2)$$

$$INH\% = 100 - \frac{IT_{15}}{KF \times IT_0} \times 100 \quad (3)$$

Bu eşitliklerde;

KF: düzeltme faktörü;
 IC₁₅: şahidin 15 dakika maruz kalma süresi sonundaki ışıma şiddeti;
 IC₀: şahidin ilk ışıma şiddeti;
 IT₁₅: Numune seyreltilerinin bulunduğu tüpte 15 dk sonraki ışıma şiddeti;
 IT₀: Numune seyreltilerinin konulacağı tüplerde ilk ışıma şiddetini ifade etmektedir.

Bu bağıntılar kullanılarak numunelerin zehirliliği, inhibisyonun %50 ve %10 olduğu konsantrasyonlar olan EC₅₀ ve EC₁₀ değerleri bulunarak belirlenmiştir. Bu çalışmada söz konusu değerler BioTox™ Software bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır (Aboatox, Turku, Finland). Zehirlilik deneyleri yapılmadan önce pH 6-8.5 arasında değilse HCl çözeltisi ile 7.0±0.2 arasına getirilmiştir. Tuzluluk değerleri de NaCl çözeltisi ile %2'ye ayarlanmıştır.

Deneysel çalışma sonuçları

Fiziksel-kimyasal parametreler ile zehirlilik verilerinin değerlendirilmesi

Ergene Nehri ve kollarındaki fiziksel-kimyasal parametreler ile zehirlilik parametresinin, toplam 7 numune sonucunda hesaplanmış ortalama ve standart sapma değerleri ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin (SKKY) kıta içi yüzeysel sular sınıflandırmasındaki IV. sınıf su kalitesi değerleri ile karşılaştırması ve zehirlilik değerlendirmesi Tablo 1'de verilmektedir (SKKY, 2004). Zehirlilik değerlendirilmesi için TU(100/EC₅₀) değerleri kullanılmıştır. TU değerlerinin derecelendirilmesi, Manusadžianas ve diğerlerinin (2003) çalışmalarında belirttikleri skalaya göre yapılmıştır. Buna göre; TU= 0 ise numune toksik değil (nt), TU<1 ise numune az toksik (st), 1<TU<10 ise numune toksik (t), 11<TU<100 ise numune çok toksik (vt), TU>100 ise numune oldukça toksiktir (et). Tablo 1'den de görüldüğü gibi bölgedeki tekstil ve deri organize sanayi arıtma tesislerinin ve diğer bazı endüstrilerin deşarjlarını alan Çorlu Deresi'ndeki N4 istasyonu en kirli ve zehirliliği en yüksek istasyondur. SKKY'deki kıtaiçi yüzeysel suların sınıflandırılması için verilen su kalitesi değerleri ile karşılaştırıldığında referans bölge olan Ergene Deresi N5 istasyonu hariç diğer tüm nehir ve kollarının oldukça kirli ve IV. sınıf su kalitesinde oldukları görülmektedir.

Nehre ve kollarına deşarj edilen atıksular evsel atıksuları da içermekte ve bu atıksular hiçbir klorlama işlemine tabi tutulmadan verilmektedir. Evsel atıksular çok fazla organik karbon ve bakteri içermektedir. Bu durum, bakteriler ile yapılan zehirlilik deneylerinde test kitinde oksijen eksikliğine neden olmakta ve test organiz-

masını etkilemektedir (Hutchings vd., 2004). Bundan dolayı nehir ve kollarında ölçülen zehirliliğin yüksek organik madde konsantrasyonu ve buna bağlı olarak düşük ÇO konsantrasyonu, yüksek NH₄-N, TS ve Toplam Krom (TCr) konsantrasyonlarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Kirlenmemiş bölge olarak seçilen N5 istasyonunun buna bağlı olarak *Vibrio fischeri*'ye de zehirlilik etkisinin olmadığı görülmektedir. Deşarj-bağımlı bir sistem olan N2 istasyonu Çorlu Deresi'nin bir koludur ve büyük çoğunluğu tekstil endüstrisi atıksularını taşımaktadır. N2 istasyonunun düşük krom değerlerine rağmen zehirliliğinin yüksek olması, *Vibrio fischeri* bakterisinin kroma, özellikle Cr³⁺,ya çok hassas olmaması, Cr³⁺'nin organizmalar için gerekli bir mikro element olması ve bu organizmanın Cr⁶⁺'yı uygun şartlarda Cr³⁺'a dönüştürme kapasitesinin olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık bu bakterinin organik maddeye daha hassas olması sebebiyle, bu noktadaki zehirliliğin özellikle tekstil boyalarından kaynaklanan yüksek organik maddeden ve TÇM'den kaynaklandığı düşünülmektedir (Villaescusa vd., 1996; Gueguen, 2004; Fulladosa vd., 2006).

Zehirlilik ile kirletici parametreler arasındaki ilişki

Derelerde yapılan ölçümlerde zehirlilik değeri olan EC₁₀ değeri ile KOİ, ÇO, TÇM, AKM, TS, TP, NH₄-N ve TCr parametreleri arasındaki ilişkiler SPSS 13.0 İstatistik Programı ile hesaplanmıştır. İstatistikte parametreler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığına anlaşılması için F değeri, P değeri, t-istatistiği, anlamlılık F değeri ve regresyon katsayıları kullanılmaktadır. P olasılık değerinin 0.01'den küçük olması söz konusu değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Genellikle anlamlı bir ilişki olup olmadığına karar vermek amacıyla P değerinin 0.05'ten küçük olması istenmektedir. t-istatistiği ise bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyasyonlarını açıklamaktadır. t-istatistiği büyüdükçe bağımsız değişkenlerin açıklayıcı etkisi artmaktadır. Tüm bağımsız değişkenlerin etkisini içine alan F değeri t-istatistiğine benzerdir ve regresyon modelinin kalitesini göstermektedir. F değeri ne kadar büyükse parametreler arasındaki ilişki o kadar anlamlıdır. F değerindeki artışa bakılarak düşük t-

istatistiği değerlerine sahip olan bağımsız değişkenler elenerek modelin kalitesi artırılabilir. Anlamlılık F değeri de P değeri ile aynı fonksiyonu görmektedir. Bu değerin 0.1'den küçük olması modelin istatistik olarak anlamlı olduğunu gösterir. Anlamlılık F değeri 0.01'den küçükse oldukça anlamlı bir ilişki söz konusudur. Regresyon katsayıları olan R ve R², 1'e ne kadar yakınsa parametreler arasında o kadar anlamlı bir ilişki söz konusudur (Bayazıt ve Oğuz, 1994; Long vd., 1996).

Yapılan alışmalar sonucunda zehirlilik ile O parametresi arasında lineer bir ilişki diğer parametrelerin ise logaritmaları ile lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. EC₁₀ değeri ile kirletici parametreler arasında ilişki olup olmadığının ve bu ilişkinin anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için yapılan veri analizi istatistiksel değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'den de görüldüğü gibi R²=0.956 ve anlamlılık F değeri 3.94.10⁻²⁰ (<0.01) ile oldukça yüksek ve anlamlı ilişki belirlenmiştir. Zehirlilik ile hangi parametreler arasında anlamlı ilişki olduğunun belirlenmesi için P değerlerine bakılması gerekmektedir. Tablo 2'den de görüldüğü gibi P değerinin 0.05'ten düşük olduğu parametreler O, KOİ ve TÜM'dir. Düşük t-istatistiğine ve yüksek P değerlerine sahip parametreler elenerek F değerinin ar-

tışı sağlanabildiğinden, O, KOİ ve TÜM parametreleri ile zehirlilik ilişkisi araştırılmıştır. Tablo 3'te bu ilişkinin belirlenmesi için yapılan veri analizi sonucu görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi P değeri yüksek olan değerler çıkarıldığında bu üç parametre ile zehirlilik ilişkisi çoklu R katsayısı düşmesine rağmen F değeri 89'dan 232'ye yükselmiş ve anlamlılık F değeri ile P değerleri düşmüştür. Buna göre bu üç parametre ile zehirlilik arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. lnKOİ ile O parametresinin P değerlerine bakıldığında 10⁻⁵ mertebesinde oldukları ve 0.01'den oldukça düşük oldukları görülmüştür. lnTM'nin de P değeri 0.01'den düşüktür.

Çoklu regresyon modeli

Çoklu regresyon analizinde değişkenler arasındaki matematiksel bağıntının bulunabilmesi için SPSS 13.0 İstatistik Programı ile Excel'de veri analizi programı birlikte kullanılmıştır. Modelde bağımlı değişken olan zehirliliğin ifadesi EC₁₀ ile bağımsız değişkenler olarak da daha önceki çalışmalarla belirlendiğı gibi ilişkinin en anlamlı olduğu değişkenler olan O, KOİ ve TÜM parametreleri kullanılmıştır. Tablo 4'te kullanılan program sonrasında bulunan çıktıların özeti verilmiştir. Yukarıda da belirtildiğı gibi bu analiz sonucunda bu ilişkinin matematik modelinin

Tablo 1. Yüzeysel sulardaki kirletici parametrelerin ve zehirliliklerinin değerlendirilmesi (n=7, ortalama±standart sapma)

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	IV.sınıf su kalitesi standartları (SKKY, 2004)
pH	10.6±0.5	9.1±0.6	9.0±0.8	7.5±0.5	7.5±0.5	8.5±0.4	<6 veya >9
Sıcaklık (°C)	28±8.1	27.8±2.5	21.3±8.5	22.3±7.3	14.9±8	21.1±6	>30
O (mg/L)	3.7±1.3	1.2±0.8	1.6±0.2	1.4±0.3	6.6±0.5	1.5±0.7	>3
KOI (mg/L)	289±46	404±72	407±159	1010±434	22±9	339±85	70
BOI (mg/L)	79±17	145±34	150±73	382±173		115±42	20
TM (mg/L)	1854±553	2535±1244	2129±1172	2740±872	269±97	2054±459	>5000
AKM (mg/L)	80±9	201±37	105±35	228±41	38±13	150±27	-
TP (mg/L)	1.2±0.3	1.8±0.6	5.2±4.3	4.7±0.8	1.5±1.4	2.8±0.6	>0.65
NH ₃ -N (mg/L)	0.8±0.4	11±5.5	8.9±4.8	13.1±2.5	1.4±0.7	11.6±4.1	>2
TCr (mg/L)	0.01±0.01	0.05±0.03	0.03±0.03	27±11.2	-	5±2	>0.2
TS (mg/L)	0.09±0.08	0.8±0.7	0.06±0.07	4.7±3.7	-	1.5±0.5	>0.01
Fe (mg/L)	1.0±0.6	11.3±1.9	12.5±4.8	50±16.9	0.7±0.5	8.6±4.3	>5
Renk (340nm abs)	0.37±0.15	1.1±0.2	0.6±0.16	0.84±0.26	0.002±0.001	0.67±0.15	-
EC ₅₀ (%)	61.9±14.3	22.5±10.9	44.7±13.7	14.5±3.7	-	31.8±5.3	-
EC ₁₀ (%)	23.5±7.2	6.9±2.8	15.5±5.2	4.3±2.3	-	8.5±2.3	-
TU (100/EC ₅₀)	1.7±0.5 (t)	5.2±2.5 (t)	2.5±1.1 (t)	(t)	-	(t)	-

Tablo 2. Derelerdeki kirletici parametrelerle zehirlilik arasındaki regresyon istatistikleri

Regresyon İstatistikleri		
Çoklu R	0.977	
R ²	0.956	
Ayarlı R ²	0.945	
Standart Hata	7.96	
Gözlem Sayısı	42	
ANOVA		
F	89	
Anlamlılık F	3.94.10 ⁻²⁰	
	t-istatistiği	P-değeri
ÇO	4.68	4.64.10 ⁻⁵
lnKOİ	-2.56	0.015
lnTÇM	-3.41	0.0017
lnNH ₃ -N	2.017	0.052
lnTP	-0.665	0.51
lnTS	0.424	0.647
lnTCr	-0.317	0.759
lnAKM	-1.57	0.126

Tablo 3. Derelerdeki KOİ, ÇO ve TÇM konsantrasyonları ile zehirlilik verileri arasındaki regresyon istatistikleri

Regresyon İstatistikleri		
Çoklu R	0.973	
R ²	0.948	
Ayarlı R ²	0.944	
Standart Hata	8.04	
Gözlem Sayısı	42	
ANOVA		
F	232	
Anlamlılık F	1.79.10 ⁻²⁴	
	t-istatistiği	P-değeri
ÇO	5.59	2.04. 10 ⁻⁶
lnKOİ	-4.40	8.45. 10 ⁻⁵
lnTÇM	-3.45	0.0014

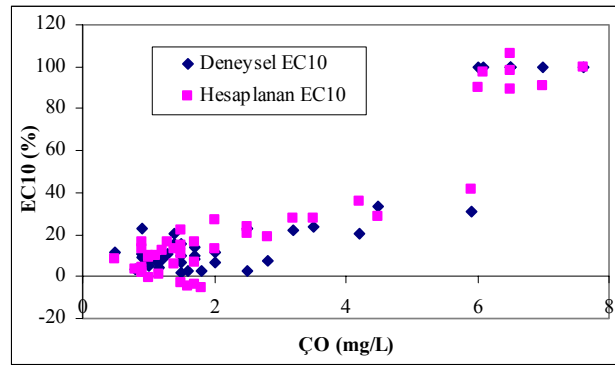
Tablo 4'te verilen katsayılar kullanılarak yapılması durumunda R² değeri 0.95 ve anlamlılık F değeri de 1.79.10⁻²⁴ olmaktadır.

Bu verilere göre zehirlilik ile ÇO, KOİ ve TÇM parametreleri arasındaki ilişki aşağıdaki modele uymaktadır:

$$EC_{10} = 144.59 + 6.07 \times \text{ÇO} - 10.55 \times \ln \text{KOİ} - 10.36 \times \ln \text{TÇM} \quad (4)$$

Bu modele göre zehirlilik ile ÇO, KOİ ve TÇM parametreleri arasındaki ilişki anlamlıdır. Modele göre çözülmüş oksijen artışı EC₁₀ değerlerini arttırmakta ve buna göre de zehirliliği azaltmaktadır. Ortamda organik madde ve toplam çözülmüş maddelerin artışı ise EC₁₀ değerlerinin azalmasına ve buna bağlı olarak da zehirliliğin artmasına neden olmaktadır.

Deneysel sonuçlar ile modelde hesaplama sonucu öngörülen veriler arasındaki ilişki Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. Verilen şekillerden de görüldüğü gibi ÇO, KOİ ve TÇM arasında kurulan modelden hesaplanan EC₁₀ değerleri ile deneylerde ölçülen EC₁₀ değerleri büyük ölçüde örtüşmektedir.

Şekil 2. ÇO ile EC₁₀ ilişkisi

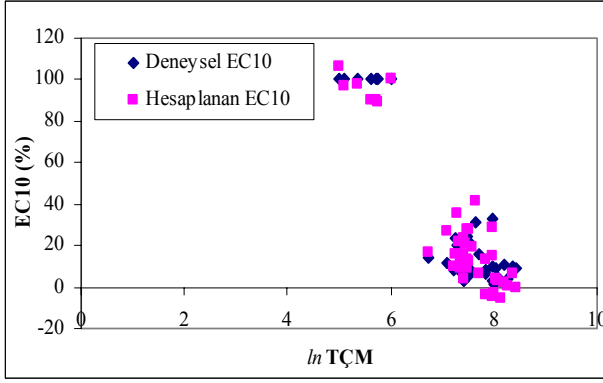
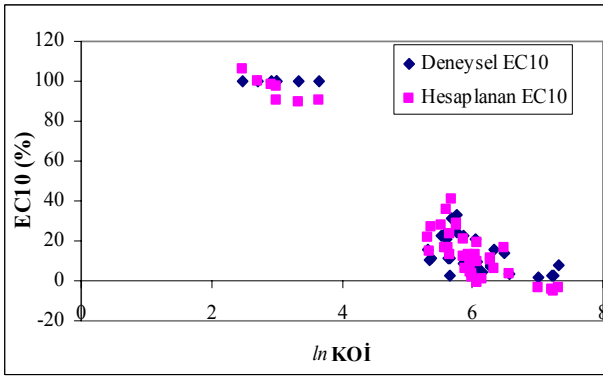
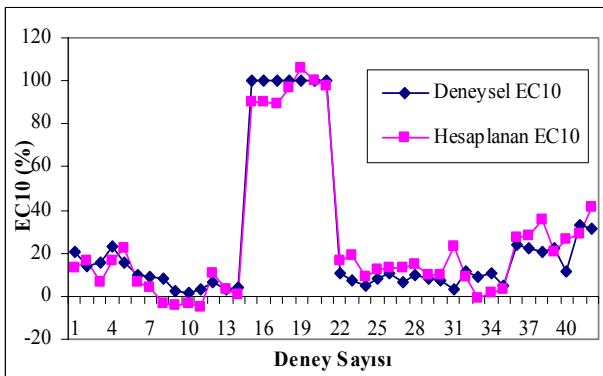
Sonuçlar

Bu çalışma, havza yönetiminde deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemlerin farklı şekilde ele alınması gerekliliğini ortaya koymak ve endüstrileşmenin çok yoğun olduğu yerlerde bu sistemlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması için kirletici parametrelerin yanında, zehirliliğine de bakılması gerekliliğini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Ayrıca çok farklı karakterdeki atıksuların deşarj edildiği bu sistemlerde zehirliliğe neden olan parametrelerin belirlenmesi ve buna bağlı olarak bu havzada hangi parametreye kısıt konulması gerekliliğinin de araştırılması bu çalışmanın amaçlarındandır. Çalışma sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

- Ergene Nehri ve kolları SKKY'ye göre IV. Sınıf su kalitesinde olup hiçbir yararlı kullanıma uygun değildir.

Tablo 4. Çoklu regresyon modeli oluşturulurken kullanılan verilerin regresyon istatistikleri

	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistiği	P-değeri
Kesişim	144.59	18.38	7.86	$1.78 \cdot 10^{-9}$
ÇO	6.08	1.08	5.6	$2.04 \cdot 10^{-6}$
$\ln KOİ$	-10.55	2.40	-4.4	$8.45 \cdot 10^{-5}$
$\ln TÇM$	-10.36	2.99	-3.46	0.001

Şekil 3. TÇM ile EC_{10} ilişkisiŞekil 4. KOİ ile EC_{10} ilişkisiŞekil 5. Deneysel ve hesaplanan EC_{10} ilişkisi

- Deşarj-bağımlı ve deşarj-ağırlıklı sistemler, özellikle sanayinin çok yoğun ol-

duğu bu tip bölgelerde, sürdürülebilirliklerinin sağlanabilmesi için ayrı şekilde değerlendirilmeleri ve yönetilmeleri gereken sistemlerdir.

- Bu havzadaki alıcı ortamlardan alınan numunelerde, *Vibrio fischeri* organizmasını etkileyen kirletici parametrelerin özellikle KOİ ve TÇM olduğu görülmüştür.
- Nehir ve nehir kollarından alınan numunelerle *Vibrio fischeri* organizması kullanılarak yapılan zehirlilik deneylerinde özellikle kroma karşı hassasiyetinin düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Ergene Havzası'nda, bölgenin özellikleri dikkate alınarak, kimyasal-bazlı ve zehirlilik-bazlı deşarj standartlarının birlikte kullanıldığı yeni standartlar geliştirilmelidir.

Kaynaklar

- APHA, (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., American Public Health Association, Washington D.C.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B., (1994). Mühendisler için istatistik, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bernard, C., Janssen R., Colin, J.R. ve Anne, L.D., (1997). Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates: 2. Comparison of physico-chemical characteristics of landfill leachates with their toxicity determined with a battery of tests, *Chemosphere*, **35**, 11, 2783-2796.
- Brooks, B.W., Riley, T.M. ve Taylor, R.D., (2006). Water quality of effluent-dominated ecosystems: ecotoxicological, hydrological, and management considerations, *Hydrobiologia*, **556**, 365-379.
- Fulladosa, E., Desjardin, V., Murat, J-C., Gourdon, R. ve Villaescusa, I., (2006). Cr(VI) reduction into Cr(III) as a mechanism to explain the low sensitivity of *Vibrio fisheri* bioassay to detect chromium pollution, *Chemosphere*, **65**, 644-650.

- Guéguen, C., Gilbin, R., Pardos, M. ve Dominik, J., (2004). Water toxicity and metal contamination assessment of a polluted river: The Upper Vistula River (Poland), *Applied Geochemistry*, **19**, 153-162.
- Hutchings, M., Johnson, I., Hayes, E., Girling, A.E., Thain, J., Thomas, K., Benstead, R., Whale, G., Wordon, J., Maddox, R. ve Chown, P., (2004). Toxicity reduction evaluation, toxicity identification evaluation and toxicity tracking in direct toxicity assessment, *Ecotoxicology*, **13**, 475-484.
- ISO 11348-3, (1999). Determination of the Inhibitory Effect of Water Samples on the Light Emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test).
- Long, E.R., Sloane, G.M., Carr, R.S., Scott, K.J., Thusby, G.B. ve Wade, T.L., (1996). Sediment toxicity in Boston Harbor: Magnitude, extent and relationships with chemical toxicants, NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 96, Silver Spring, Maryland.
- Manusadžianas, L., Balkelyte, L., Sadauskas, K., Blinova, I., Pöllumaa, L. ve Kahru, A., (2003). Ecotoxicological study of Lithuanian and Estonian wastewaters: Selection of the biotests, and correspondence between toxicity and chemical-based indices, *Aquatic Toxicology*, **63**, 27-41.
- McCulloch, W.L., Goodfellow, W.L. ve Black, J.A., (1993). Characterization, identification and confirmation of total dissolved solids as effluent toxicants, *Environmental Toxicology and Risk Assessment*, Second Volume, 724.
- Mladenov, N., Strzepek, K. ve Serumola, E.M., (2005). Water quality assessment and modeling of an effluent-dominated stream, the Notwane River, Botswana, *Environmental Monitoring and Assessment*, **109**, 97-121.
- Mount, D.R., Gulley, D.D., Hockett, J.R., Garrison, T.D. ve Evans, J.M., (1997). Statistical models to predict the toxicity of major ions to *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* and *Pimephales promelas* (fethead minnow), *Environmental Toxicology and Chemistry*, **16**, 10, 2009-2019.
- Novotny, V., (2007). From wingspread to sustainable urban waters and watersheds, International Symposium and New Directions in Urban Water Management, September 12-14, Unesco, Paris.
- Onnis-Hayden, A., Meharg, R. ve Peary, R., (2006). Effluent-Dominated Rivers in US, Watershed Management, CIVG 262.
- Pivato, A. ve Gaspari, L., (2005). Acute toxicity test of leachates from traditional and sustainable landfills using luminescent bacteria, *Waste Management*, **26**, 1, 1148-1155.
- Sánchez-Meza, J.C., Pacheco-Salazar, V.F., Pavón-Silva, T.B., Guiérrez-García, V.G., Avila-González, C.J. ve Guerrero-García, P., (2007). Toxicity assessment of a complex industrial wastewater using aquatic and terrestrial bioassays *Daphnia pulex* and *Lactuca sativa*, *Journal of Environmental Science and Health*, **42**, 3, 1425-1431.
- SKKY, (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık, 25687 Sayılı Resmi Gazete.
- TBMM Raporu, (2002). Ergene Nehri'ndeki kirliliğin ve çevreye etkilerinin araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan (10/2,6) esas numaralı meclis araştırması komisyonu raporu.
- Villaescusa, I., Marti, S., Matas, C. ve Martinez, M., (1997). Chromium(IV) toxicity to luminescent bacteria, *Environmental Toxicology and Chemistry*, **16**, 5, 871-874.