



## Yeraltı Suyu Kirliliğini Önlemeye Dönük Bariyer Tasarımı

Zeki GÖKALP<sup>1\*</sup> İsmail TAŞ<sup>2</sup> Oğuzhan UZUN<sup>1</sup> Serkan ŞAHAN<sup>1</sup>

Sema KAPLAN<sup>1</sup> Mustafa BAŞARAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi

\*e-posta: zekigokalp@yahoo.com

Alındığı tarih (Received): 29.05.2017

Kabul tarihi (Accepted): 21.07.2017

Online Baskı tarihi (Printed Online): 19.12.2017

Yazılı baskı tarihi (Printed): 29.12.2017

**Öz:** Bu çalışmada atık depolama sahaları, doğal arıtma sistemleri (yapay sula kalanlar) havuzları ve hayvancılık işletmelerinde gübre idaresi amaçlı kullanılan havuzların (lagun) tabanından meydana gelen sızmalarla ortaya çıkabilecek yer altı suyu kirliliğini önlemeye yönelik bir bariyer tasarımı ortaya konmuştur. Bu amaçla belirli bir tane büyüklüğü aralığına sahip (1.00 – 0.50 mm) ve belirli bir oranda bentonit ile karıştırılmış kum ve ponza (%30) kullanılmıştır. Optimum nem içeriğinde ve maksimum kuru birim ağırlıkta sıkıştırılmış numunelerle gerçekleştirilen permeabilite testlerinde numuneleri doymun hale getirmek için farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış nitrat, fosfor (25, 50, 100, 150 ve 200 ppm) ve ağır metal (Cd, Ni, Pb, Cr ve Cu) çözeltileri (10, 20, 30, 40 ve 50 ppm) kullanılmıştır. Çıkan süzüklerde gerçekleştirilen analizlerle bariyer malzemesinin adsorpsiyon-desorpsiyon kabiliyeti tespit edilmiştir. Ağır metal adsorpsiyon kapasitesi açısından en iyi performansı bentonit sergilemiştir. Kum ve ponza ise kurşun ve kadmiyum metallerinde birbirine yakın değerler sergilerken, krom, bakır ve nikel adsorpsiyonunda ponza kuma oranla çok daha iyi performans sergilemiştir. Nitrat adsorpsiyonu bakımından kum-bentonit ve ponza-bentonit karışımları benzer özellikler sergilerken fosfor adsorpsiyonunda ponza-bentonit karışımları çok daha başarılı bulunmuştur. Malzeme karışımlarında yüksek düzeyde makro-mikro gözenek içermesi ve daha fazla adsorpsiyon yüzeyine sahip olmasından dolayı ponzanın kuma alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bentonit, bariyer, ponza, su kirliliği, yeraltı suyu

## A Novel Liner Design To Prevent Groundwater Pollution

**Abstract:** In this research, study, a novel liner design was proposed for waste repository sites, constructed wetland basins and manure management lagoons to prevent the groundwater contamination by seepages from the bottom of these facilities. For this purpose, sand-bentonite and pumice-bentonite mixtures with pre-defined grain size range (1.00-0.50 mm) and bentonite content (30%) was used in experiments. Various concentrations of nitrate, phosphorus (25, 50, 100, 150 and 200 ppm) and heavy metals (Cd, Ni, Pb, Cr and Cu) solutions (10, 20, 30, 40 and 50 ppm) were used to saturate the permeability test samples. Extracts of permeability test were used to investigate the adsorption and desorption characteristics of proposed mixtures for liner design. With regard to heavy metal adsorption, bentonite had the best performance. Sand and pumice exhibited similar performances in lead and cadmium adsorption, but pumice had much better performance than sand in chrome, copper and nickel adsorption. Although sand-bentonite and pumice-bentonite mixtures exhibited similar performance in nitrate adsorption, again pumice-bentonite mixtures had much better performance than sand-bentonite mixtures in phosphorus adsorption. Current results revealed that pumice with macro-micro pore structure and resultant adsorption surface characteristics could be used as an alternative of sand in liner design.

**Keywords:** Bentonite, barrier, ground water, pumice, water pollution

## 1. Giriş

Gün geçtikçe kirlenen sularımız, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkisiyle azalan su kaynaklarımız, artan iş gücü ve enerji maliyetleri yirmi birinci yüzyılda suyu, atık yönetimi ve arıtma teknolojilerini gündemin ilk sıralarına taşımıştır. Dünyada ve ülkemizde gelişmekte olan çevre bilinci, giderek artan çevre kirliliği ve yasal düzenlemelere karşın evsel ve endüstriyel atık sular birçok ülkede arıtılmadan doğrudan en yakında bulunan alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Çevreye gelişigüzel dökülen katı atıklar ile nehir ve akarsulara arıtılmadan bırakılan atık sular havayı, suyu ve toprağı kirleterek insan, hayvan ve bitki sağlığına zarar vermektedir. Gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakabilmek için bu atıkların, arıtılarak çevreye verilmesi gerekmektedir. Hızla artan nüfus ve sanayinin gelişmesi çevre kirliliğini, dolayısıyla su kaynaklarının kirlenmesini de bir olumsuzluk olarak beraberinde getirmiştir (Çakmak ve ark., 2013). Günümüzde içme ve kullanma suları içindeki kirlilik parametrelerden biri de ağır metallerdir ve bu metaller halk sağlığı için de büyük tehlike oluşturmaktadır. Bu kirliliğin en önemli kaynaklarından birisi, endüstriden ve evsel kaynaklardan gelen atık sulardır. Sulardaki kirleticilerden en önemlilerinden olan ağır metaller, bitkilere ve hayvanlara geçmektedir (Duman, 2012).

Zararlı atık depolama sahaları ve yapay sulak alan havuzlarının tabanlarından oluşan sızmalar toprak, çevre ve yer altı suyu kirliliği gibi önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu tür tesislerin tabanına özellikle hidrolik iletkenlik esasları dikkate alınarak çeşitli malzemeler veya malzeme karışımları serilip sıkıştırılmaktadır. Bu amaçla hidrolik iletkenliği düşük malzeme olarak jeo-tekstil, bentonit veya sıkıştırılmış kil yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kuzey Amerika'da bu amaçla kum-bentonit ve silt-bentonit karışımları kullanılmaktadır. Bu malzeme karışımında bentonit hidrolik iletkenliği düşürürken kum veya silt, bentonitin şişme esnasında geliştirdiği hacim artışı boşluklarında hapsederek kabarmaları ve büzülürken ortaya çıkabilecek çatlamları önleyebilmektedir (Gökalp, 2009).

Doğal arıtma sistemleri olarak da tanımlanan yapay sulak alanlar, doğal alanları taklit eden sistemler olup özel tasarlanmış havuzlarda sucül bitkileri kullanarak evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan arıtma sistemleridir. Küçük yerleşim birimlerinden kentlere kadar uygulanabilen, konvansiyonel arıtma sistemlerine oranla çok daha düşük maliyetli, enerji maliyeti olmayan ve kolaylıkla işletilebilen bu sistemler Devlet Planlama Teşkilatı tarafından açıklanan Kırsal Kalkınma Stratejilerinde öncelikli alan olarak tanımlanmakta ve kırsal kesimde köy kanalizasyonlarının arıtımında zorunlu hale gelmektedir. Avrupa Birliği Çevre Politikası Kentsel Atık Su Arıtma Direktifi çerçevesinde yerel yönetimler ve sanayiler tarafından atık su arıtma alanında önemli yatırımlar yapılması gerekmektedir (Gökalp ve ark., 2013).

İnşa edilecek atık depolama sahaları, yapay sulak alan havuzları ve tarımsal amaçlı gübre idaresi havuzlarının tabanlarında geçirimsizliği temin etmek amacıyla ekonomik kriterler göz önünde bulundurularak yerel olarak uygun malzemeler yeğlenmekte ve özellikle sıkıştırılmış killi toprak veya kum-bentonit karışımı malzeme kullanılmaktadır. Bu tür arıtma ve depolama tesislerinden oluşan atık su sızıntıları yeraltı suyu kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle sızıntılarla yeraltı suyuna karışan ağır metaller, yeraltı suları üzerinde önemli düzeyde kirlilik tehdidi yaratan unsurlardır (Gökalp ve ark. 2012).

Bu tür havuzlarının tabanında geçirimsiz bariyer teşkil etmek için geçirimsizliği oldukça düşük olan kil tipi bentonit kullanılmaktadır. Bentonit, ince taneli şişen tipte bir kil mineralidir. Kilin tek başına kullanımı ileriki aşamalarda birtakım sıkıntılar doğurabilir. Bünyesine su aldığı anda şişerek kabarması ve suyunu bıraktığında ise büzülerek çatlamasından dolayı kil malzeme içerisine daha kaba taneli malzeme karıştırılmaktadır. Bu amaçla da yaygın olarak kum kullanılmaktadır (Gökalp ve ark., 2011).

Ponza kuma benzer tane boyutlarına sahip bir malzemedir. Volkanik kayacın kimyasal ve

fiziksel olarak ayrışarak parçalanması sonucu oluşan ve içerisinde makro ve mikro düzeyde boşluklar içeren oldukça gözenekli bir malzemedir. Gözenekli olması malzeme karakteristiklerini kumdan önemli düzeyde farklı kılmaktadır. Ülkemizin en zengin ponza yatakları Kayseri İlinde özellikle Erciyes Dağı çevresindedir. Buralardan elde edilen ponza genellikle hafif yapı malzemesi üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kayseri İlinde yapay sulak alan uygulamaları da hızla yaygınlaşmaktadır. İl Özel İdaresi tarafından inşa edilen yapay sulak alanların tabanlarında geçirimsiz bariyer olarak kil malzeme ve kil-kaba malzeme karışımları kullanılmaktadır (Gökalp ve Çakmak, 2013). Bu çalışmada atık depolama sahaları, doğal arıtma sistemi (yapay sulak alanlar) havuzları ve hayvancılık işletmelerinde gübre idaresi amaçlı kullanılan havuzların (lagun) tabanından oluşabilecek sızmalarla ortaya çıkabilecek ağır metal kirliliğini önlemeye yönelik bir bariyer tasarımı ortaya konmuştur. Araştırmada temel hedef ponza ve bentonitin adsorpsiyon karakteristiklerini ön plana çıkarabilmek ve yöresel olarak bol miktarda elverişli malzeme olan ponza için yeni bir kullanım alanı ortaya koyabilmektir.

## 2. Materyal ve Metot

Kullanılan tane boyutu ve bentonit karışım oranı önceki bir çalışmanın sonuçlarına dayalı olarak

seçilmiştir (Gökalp ve ark., 2011). ASTM D5084 standardına (Anonim, 2000a) uygun olarak gerçekleştirilen permeabilite testlerinin sonuçlarına dayanarak bu tür bariyerler için izin verilen sızma koşulunu sağlayan malzeme boyutu ve bentonit karışım oranı kullanılmıştır. Kum ve ponza için, 1.00-0.50 mm tane boyutu aralığında %30 oranında bentonit karıştırılmış numuneler kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan ponza ve bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Çanbensan, 2010; Garden Pomza, 2010).

Araştırmada kullanılan ponza örneklerinin gözenekli yapısını ortaya koyabilmek için çekilen elektron mikroskopisi fotoğrafları (SEM) Şekil 1'de verilmiştir. Gerek taneler arasında gerekse tane içindeki makro ve mikro boşluklar, malzemenin özgül yüzey alanını ve sonuçta adsorpsiyon kapasitesini artırmaktadır. Araştırmada kullanılan malzemeler sıkıştırılmış bariyer oluşturmak için kullanılacağından, malzemeler belirtilen oranda bentonit ile hacim esasına dayalı homojen bir şekilde karıştırılmış ve hazırlanan karışımların sıkıştırılması standart kompaksiyon (sıkışma) testi ASTM D698'e uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2000b).

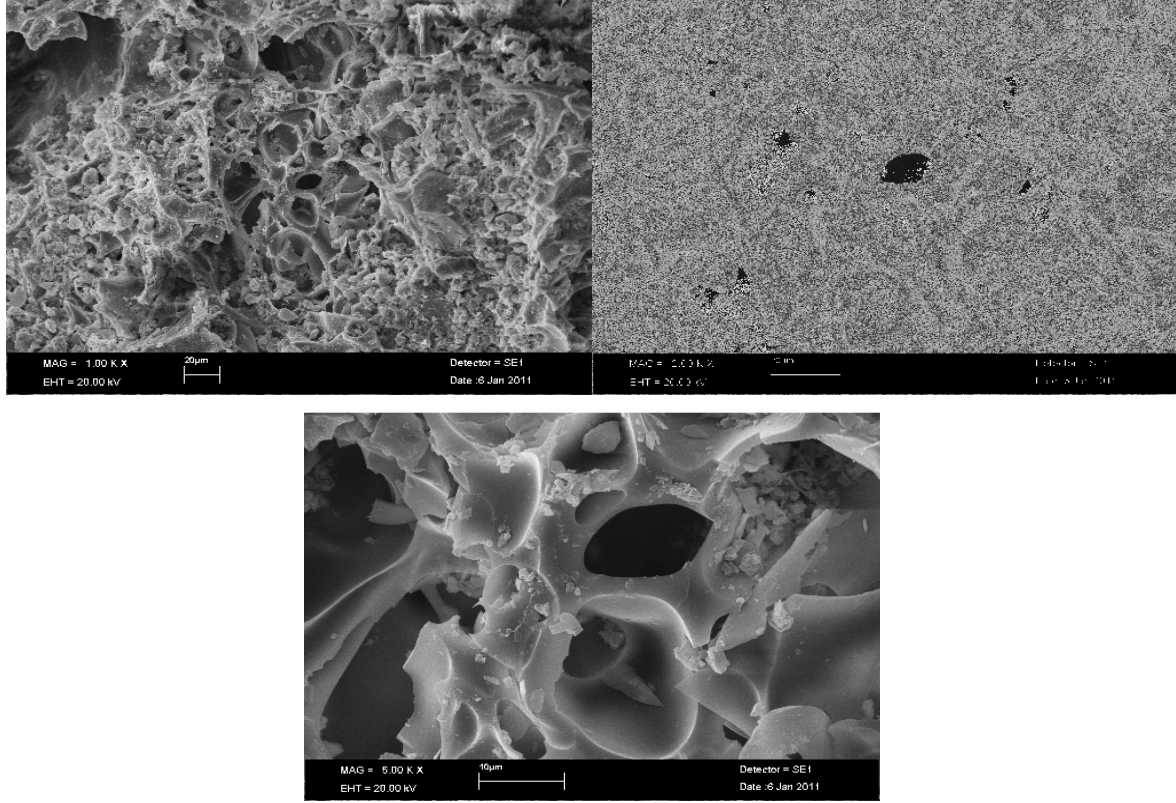
**Tablo 1.** Bentonit ve ponzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

**Table 1.** Physical and chemical characteristics of pumice and bentonite

| Bentonit                       |                            | Ponza                              |            |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------|
| Özellik                        | Değer                      | Özellik                            | Değer      |
| SiO <sub>2</sub>               | %62.1                      | SiO <sub>2</sub> (%)               | %53.50     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %15.21                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | %10.75     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %6.58                      | CaO (%)                            | %3.78      |
| MgO                            | %2.28                      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | %3.22      |
| Na <sub>2</sub> O              | %1.59                      | K <sub>2</sub> (%)                 | %3.15      |
| CaO                            | %1.19                      | MgO (%)                            | %1.95      |
| K <sub>2</sub> O               | %1.1                       | Na <sub>2</sub> O (%)              | %1.60      |
| Yoğunluk                       | 0.9 g cm <sup>-3</sup>     | pH                                 | 6.5        |
| Nem İçeriği                    | %9.50                      | Kireç (%)                          | %6.6       |
| pH                             | 9.5                        | Nem İçeriği (%)                    | %10.9      |
| Likit limit (%)                | %630                       | Su Tutma Kapasitesi                | 90.2       |
| Sıkışabilme (%)                | %40                        | Toplam N                           | 0.028 ppm  |
| Yaş Mukavemet                  | 24.5 (N cm <sup>-2</sup> ) | Çözünebilir P                      | 0.004 ppm  |
| Kuru Mukavemet                 | 42 (N cm <sup>-2</sup> )   | Çözünebilir K                      | 4.79 ppm   |
| Kesme Mukavemeti               | 6.25 (N cm <sup>-2</sup> ) | Çözünebilir Ca                     | 14.019 ppm |
| KDK                            | 80-90 (meq/100g)           | Çözünebilir Mg                     | 1.077 ppm  |

Sıkıştırma, en iyi sıkışmayı sağlayan optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı elde edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzeme karışımları için edilen optimum nem miktarını sağlayacak miktarda su ilave edilip sıkıştırma gerçekleştirilmiştir. Kullanılan

optimum nem miktarı kum-bentonit karışımları için %13.80 ve ponza-bentonit karışımları için ise %19.00; maksimum kuru birim ağırlık değerleri ise kum-bentonit karışımları için  $1.770 \text{ t m}^{-3}$  ve ponza-bentonit karışımları için ise  $1.491 \text{ t m}^{-3}$  olarak alınmıştır (Gökalp ve ark., 2011).



**Şekil 1.** Ponza malzemenin SEM görüntüleri  
*Figure 1.* SEM images of pumice material

Araştırmada optimum nem içeriğinde ve maksimum kuru birim ağırlıkta olacak şekilde Proctor kalıplarında sıkıştırılmış malzeme kolonları permeabilite testlerine alınmış ve ASTM D5084'e uygun bir şekilde permeabilite testleri gerçekleştirilmiştir (Anonim 2000a). Permeabilite testleri sıkışmış kolondan süzüntü elde etmek için kullanılmıştır. Test numunesini doymun hale getirmek için kirletici kaynaklarındaki farklı ağır metal, fosfor ve nitrat düzeylerini temsil edebilecek farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış (0, 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm Cd, Ni, Pb, Cr, Cu ağır metalleri ve 0, 25, 50, 100, 150 ve 200 ppm nitrat ve fosfor) çözeltiler kullanılmıştır. Permeabilite kolonlarından çözelti süzülmesi

sağlanmış ve alınan süzüntü örneklerinde ağır metal, fosfor ve nitrat analizleri yapılarak kum-bentonit ve ponza-bentonit karışımlarının söz konusu kirleticileri tutma kabiliyeti incelenmiştir.

Malzeme boyutu ve bentonit karışım oranı seçiminde esas alınan kriter, önerilen depolama sahalarında izin verilen sızma koşulunu sağlayan permeabilite katsayısına sahip malzeme konfigürasyonudur. Araştırmada kullanılmak üzere seçilen malzeme karışımlarının permeabilite değerleri kum-bentonit karışımları için  $3.21 \times 10^{-8} \text{ cm s}^{-1}$  ve ponza-bentonit karışımları için ise  $1.88 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$  olarak alınmıştır.

Araştırmada kullanılan ponza, bentonit ve bunların karışımlardan 1g alınarak 100 ml'lik

santrifüj tüpüne konulmuş ve bu örneklerle uygulamak üzere 0.01M CaCl<sub>2</sub> içerisinde 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 mg/lit Cd, Ni, Pb, Cr, Cu ağır metallerini içeren 6 farklı çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin hazırlanmasında Cd kaynağı olarak (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Ni kaynağı olarak (NiCl<sub>2</sub>), Pb kaynağı olarak (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Cr kaynağı olarak Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Cu kaynağı olarak CuSO<sub>4</sub> kullanılmıştır. Denemeler için hazırlık işlemlerinden geçirilen karışımlardan 3 tekerrürlü olarak tartılan 1g hava kurusu örnekler orijinal çözeltilerden 25 ml uygulanmış ve laboratuvar sıcaklığında (24°C) 24 saat süreyle atmosfere açık koşullarda çalkalanmıştır. Sonra denge koşulları olduğu kabul edilen numune-çözelti karışımı süspansiyonlarından sıvı fazlar 4 500 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek ayrıştırılmış ve elde edilen süspansiyon Whatman-42 filtre kâğıdından süzölmüş ve orijinal ve denge çözeltilerinin ağır metal içerikleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (TEKMER) bulunan ICP-MS cihazında belirlenmiştir (Turan ve ark., 2004; Pierzynski, 2000).

Adsorpsiyon işlemlerinden sonra santrifüj tüplerinde kalan 1g örnekler üzerine 25 ml herhangi bir ağır metal içermeyen 0.01 M CaCl<sub>2</sub> çözeltisinden 25 ml uygulanarak laboratuvar sıcaklığında (24°C) 24 saat süreyle atmosfere açık koşullarda çalkalanmıştır. Sonra denge koşulları olduğu kabul edilen numune-çözelti karışımı süspansiyonlarından sıvı fazlar 4500 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek ayrıştırılmış ve elde edilen süspansiyon Whatman-42 filtre kâğıdından süzölmüştür. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak toplamda 75 ml çözelti elde edilmiş ve 0.01 M CaCl<sub>2</sub> çözeltisinin numunelerden uzaklaştırdığı ağır metal içerikleri belirlenmiştir (Turan ve ark., 2004; Pierzynski, 2000).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Kadmiyum (Cd) çözeltileri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin Cd konsantrasyonları 0.311 – 1.952 ppm arasında değişmiş olup, artan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin Cd konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde

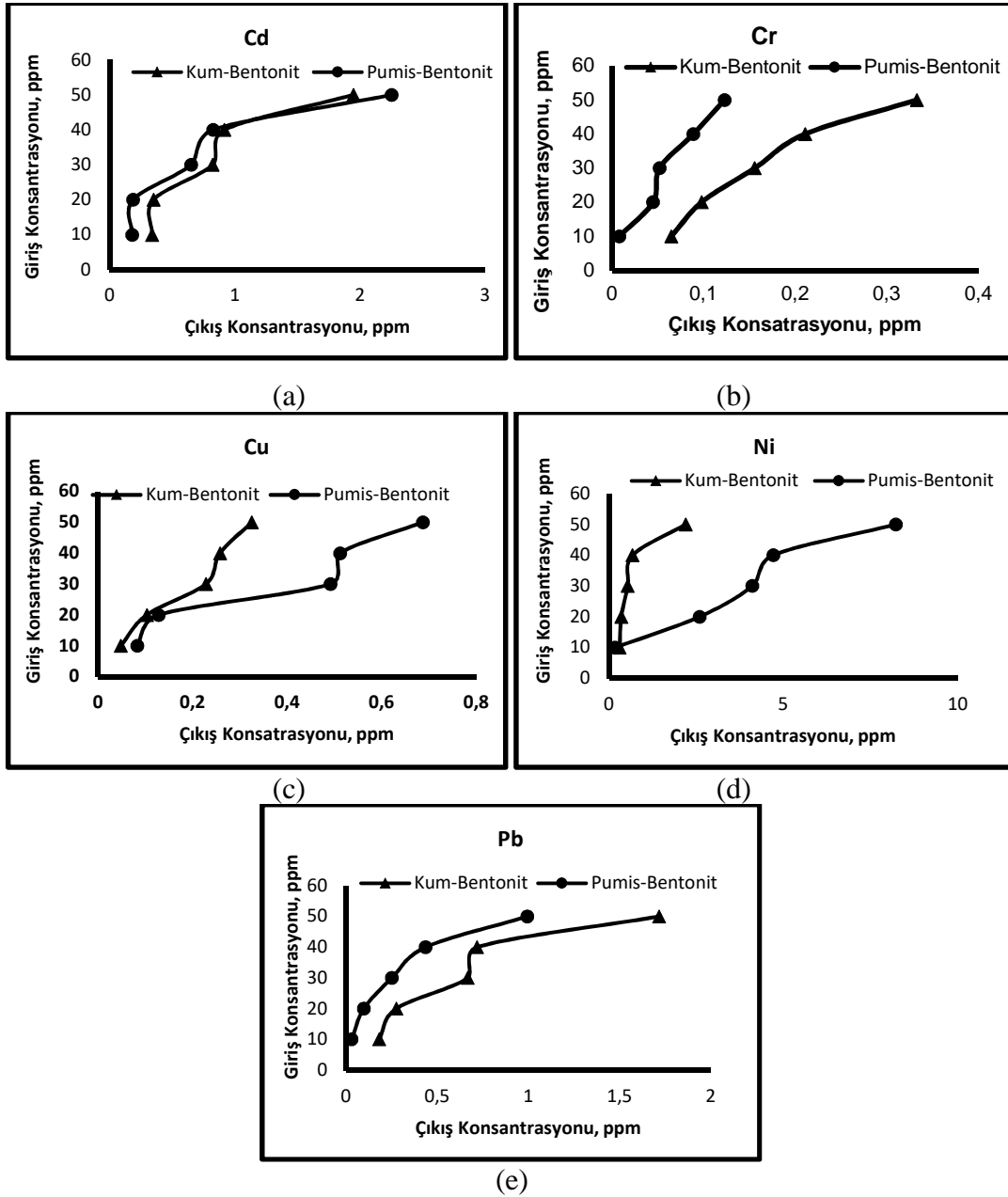
edilen süzüntülerde Cd konsantrasyonu 0.178 – 2.257 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan Cd konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin Cd konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Ponza-bentonit karışımlarının Cd tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımları ile oldukça benzer olmakta beraber çok az da olsa daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2a). Krom (Cr) çözeltileri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin Cr konsantrasyonları 0.048 – 0.387 ppm arasında değişmiş olup artan Cr konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerde Cr konsantrasyonu 0.008 – 0.148 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan Cr konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin Cr konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Ponza-bentonit karışımlarının Cr tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına oranla daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2b).

Bakır (Cu) çözeltileri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin Cu konsantrasyonları 0,032 – 0,325 ppm arasında değişmiş olup artan Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin Cu konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerde Cu konsantrasyonu 0.049 – 0.917 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan Cu konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin Cu konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Kadmiyum ve kromun aksine ponza-bentonit karışımlarının Cu tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına oranla daha düşük bulunmuştur (Şekil 2c).

Nikel (Ni) çözeltileri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin Ni konsantrasyonları 0.289 – 2.201 ppm arasında değişmiş olup artan Ni konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin Ni konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerde Ni konsantrasyonu 0.179 – 9.004 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan Ni konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak

süzüntülerin Ni konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Ponza-bentonit karışımlarının Ni

tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına oranla daha düşük bulunmuştur (Şekil 2d).



**Şekil 2.** Kum-bentonit ve ponza-bentonit karışımlarının ağır metal konsantrasyonları  
**Figure 2.** Heavy metal concentrations of sand-bentonite and punice-bentonite mixtures

Kurşun (Pb) çözeltileri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin Pb konsantrasyonları 0.117 – 1.821 ppm arasında değişmiş olup artan Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin Pb konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerde Pb konsantrasyonu 0.030 –

1.032 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan Pb konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin Pb konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Ponza-bentonit karışımlarının Pb tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına oranla daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2e).

Fosfor (P) çözümleri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin P konsantrasyonları 3.102 – 11.719 ppm arasında değişmiş olup artan P konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin P konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde

edilen süzüntülerde P konsantrasyonu 0.761 – 4.772 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan P konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin P konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir.

**Tablo 2.** Permeabilite süzüntülerinde okunan ağır metal konsantrasyonları, ppm

**Table 2.** Heavy metal concentrations of permeability leachates, ppm

| Ağır Metal (ppm) | Cd    |       | Cr    |       | Cu    |       | Pb    |       | Ni    |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | Kum   | Ponza | Kum   | Ponza | Kum   | Ponza | Kum   | Ponza | Kum   | Ponza |
| 10               | 0.311 | 0.214 | 0.048 | 0.011 | 0.032 | 0.065 | 0.117 | 0.031 | 0.289 | 0.324 |
|                  | 0.425 | 0.198 | 0.081 | 0.018 | 0.052 | 0.049 | 0.165 | 0.041 | 0.345 | 0.280 |
|                  | 0.337 | 0.178 | 0.065 | 0.008 | 0.048 | 0.083 | 0.181 | 0.030 | 0.303 | 0.179 |
| 20               | 0.337 | 0.199 | 0.090 | 0.032 | 0.092 | 0.100 | 0.321 | 0.120 | 0.421 | 1.925 |
|                  | 0.318 | 0.214 | 0.102 | 0.050 | 0.121 | 0.146 | 0.200 | 0.075 | 0.405 | 2.376 |
|                  | 0.349 | 0.186 | 0.098 | 0.045 | 0.103 | 0.128 | 0.275 | 0.097 | 0.352 | 2.599 |
| 30               | 1.021 | 0.557 | 0.174 | 0.041 | 0.194 | 0.389 | 0.621 | 0.164 | 0.612 | 3.841 |
|                  | 0.830 | 0.621 | 0.149 | 0.067 | 0.255 | 0.507 | 0.702 | 0.213 | 0.507 | 4.328 |
|                  | 0.821 | 0.650 | 0.156 | 0.052 | 0.228 | 0.492 | 0.667 | 0.251 | 0.537 | 4.110 |
| 40               | 0.792 | 0.865 | 0.245 | 0.069 | 0.197 | 0.384 | 0.915 | 0.450 | 0.718 | 4.925 |
|                  | 1.012 | 0.912 | 0.207 | 0.110 | 0.222 | 0.632 | 0.701 | 0.637 | 0.699 | 5.314 |
|                  | 0.915 | 0.826 | 0.211 | 0.089 | 0.258 | 0.512 | 0.718 | 0.436 | 0.679 | 4.712 |
| 50               | 1.952 | 2.185 | 0.387 | 0.117 | 0.291 | 0.764 | 1.489 | 1.032 | 1.962 | 9.004 |
|                  | 1.795 | 2.257 | 0.321 | 0.148 | 0.319 | 0.912 | 1.821 | 0.841 | 2.194 | 7.248 |
|                  | 1.945 | 2.252 | 0.333 | 0.123 | 0.325 | 0.687 | 1.717 | 0.994 | 2.201 | 8.225 |

Ponza-bentonit karışımlarının P tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına oranla çok daha yüksek bulunmuştur (Şekil 3a). Nitrat (NO<sub>3</sub>) çözümleri ile doyurulan kum-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerin NO<sub>3</sub> konsantrasyonları 4.973 – 18.629 ppm arasında değişmiş olup artan NO<sub>3</sub> konsantrasyonlarına bağlı olarak süzüntülerin NO<sub>3</sub> konsantrasyonları da artış göstermiştir. Ponza-bentonit karışımlarından elde edilen süzüntülerde NO<sub>3</sub> konsantrasyonu 4.758 – 16.281 ppm arasında değişmiş ve örnekleri doyurmada kullanılan NO<sub>3</sub> konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak süzüntülerin NO<sub>3</sub> konsantrasyonlarında da artış gözlenmiştir. Ponza-bentonit karışımlarının NO<sub>3</sub> tutma kabiliyeti kum-bentonit karışımlarına yakın olmasına rağmen fosfora benzer şekilde biraz daha yüksek bulunmuştur (Şekil 3b).

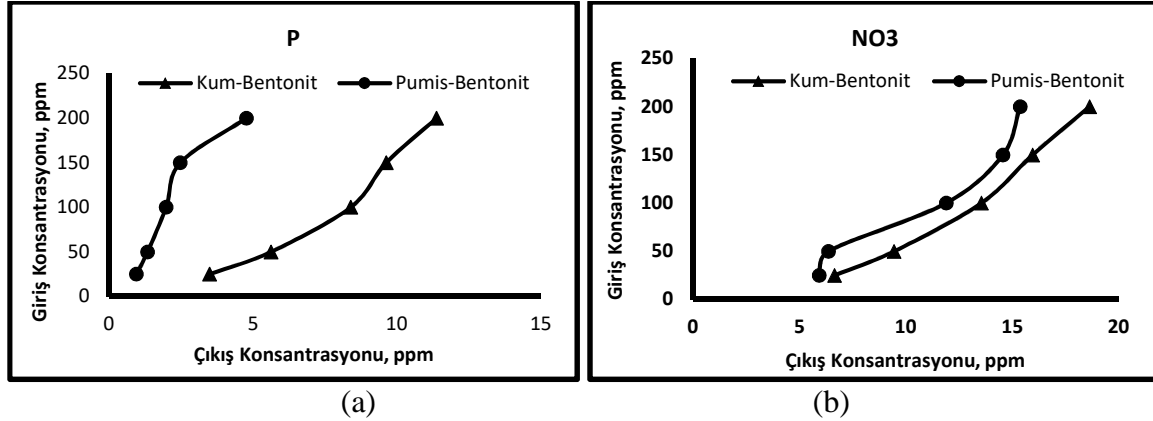
McBride (1989), topraklardaki Cd, Cu, Ni ve Zn'nun adsorpsiyon davranışlarının topraktan

toprağa geçtiğini ve pH, organik madde, katyon değişim kapasitesi ve özellikle kil miktarı gibi toprak özellikleri tarafından etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada da bentonit kili adsorpsiyonda hakim rol oynamıştır.

Scheidegger ve ark. (1996), toprak minerallerinin ağır metalleri adsorbe etmesini çevre için önemini vurgulayarak çalışmalarında phrohyllite, kaolinit, jibs ve montmorillonitin Ni adsorpsiyonu üzerine etkisini incelemişlerdir ve montmorillonitin daha hızlı bir adsorpsiyon sergilediğini ortaya koymuşlardır. Burada kullanılan bentonit montmorillonit grubu kil mineralidir. Bu nedenle araştırma bulguları bahsi geçen araştırmaların bulguları ile benzerlik göstermektedir. Adriano (1986), Estonya yöresinde bulunan düşük konsantrasyonda farklı toprakların ağır metal sorpsiyonu üzerine yaptıkları çalışmada ağır metallerin toprağın kil, organik madde ve Fe ve Mn oksit içerikleriyle

bağlantılı olduğunu, Pb ve Cr' un yüksek organik madde tarafından adsorbe edildiğini, Cu ve Cd ise toprağın mineral parçacıkları (özellikle Kalsit-Dolomit) tarafından adsorbe edildiğini ortaya koymuşlardır.

Morera ve ark. (2001), 4 farklı toprakta Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin hareketliliğini ve dağılımını sıralı ekstraksiyon metodunu ve tutunma izotermelerini toprakların fiziko-kimyasal özellikleri ve tek metal ve çoklu metal sorbsiyon kapasiteleriyle belirlemiştir.



Şekil 3. Kum-bentonit ve ponza-bentonit karışımlarının P and NO<sub>3</sub> konsantrasyonları  
Figure 2. P A and NO<sub>3</sub> concentrations of sand-bentonite and punice-bentonite mixtures

Yapmış olduğu çalışmalar sonucunda Pb ve Cu'nın toprakların yüzey aktiviteleriyle Cd, Ni ve Zn'dan daha çok ilişkili olduğunu bulmuşlardır. İnorganik yüzeylerin üstün olduğu ve organik maddenin az olduğu topraklarda Zn'un Cd ve

Ni' den daha fazla tutunduğunu, organik madde içeriğinin yüksek olduğu topraklarda ise Cd'un Ni ve Zn' dan daha fazla tutunduğunu ortaya koymuşlardır.

Tablo 3. Permeabilite süzüntülerinde okunan fosfor ve nitrat konsantrasyonları, ppm  
Table 3. Phosphorus and nitrate concentrations of permeability leachates, ppm

| Konsantrasyon | P      |       | NO <sub>3</sub> |        |
|---------------|--------|-------|-----------------|--------|
|               | Kum    | Ponza | Kum             | Ponza  |
| 25            | 3.102  | 0.761 | 4.973           | 4.758  |
|               | 4.287  | 0.907 | 6.007           | 5.147  |
|               | 3.485  | 0.937 | 6.637           | 5.921  |
| 50            | 4.990  | 1.046 | 8.715           | 6.492  |
|               | 5.018  | 1.452 | 10.384          | 5.925  |
|               | 5.621  | 1.328 | 9.448           | 6.352  |
| 100           | 7.772  | 1.837 | 12.754          | 10.762 |
|               | 8.007  | 2.079 | 11.937          | 11.146 |
|               | 8.391  | 1.973 | 13.548          | 11.895 |
| 150           | 9.126  | 3.021 | 16.348          | 13.782 |
|               | 10.114 | 2.492 | 15.027          | 14.892 |
|               | 9.627  | 2.470 | 15.957          | 14.559 |
| 200           | 10.927 | 3.880 | 17.485          | 14.941 |
|               | 11.719 | 4.455 | 18.117          | 16.281 |
|               | 11.382 | 4.772 | 18.629          | 15.367 |

Vega ve ark. (2004), toprak ve toprak bileşenlerinde (kil mineralleri, metal hidroksitler ve toprak organik maddesi) metal iyonlarının adsorpsiyon davranışlarını deneysel metotlarla gözlemlediği çalışmada Cd ve Pb'un hem

Langmuir hem de Freundlich izotermleriyle tanımlanabileceğini belirtmiştir. Cd adsorpsiyonu en çok toprakta Cd'un uzaklaşmasına neden olan ve tutunmasında rekabet eden Ca ve Zn gibi divalent katyonlar tarafından etkilendiğini,



toprakların karbonat içeriğinin de Pb adsorpsiyonu üzerinde önemli bir rol oynadığını ifade etmiştir.

#### 4. Sonuç

Atık depolama sahaları, doğal arıtma sistemi (yapay sulak alanlar) havuzları ve hayvancılık işletmelerinde gübre idaresi amaçlı kullanılan havuzların (lagun) tabanından oluşabilecek sızmalarla ortaya çıkabilecek ağır metal kirliliğini önlemeye yönelik bir bariyer ortaya koyabilmek için belirli bir tane büyüklüğü aralığına sahip ve belirli bir oranda bentonit ile karıştırılmış kum ve ponza numunelerinin kullanıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Ağır metal adsorpsiyon kapasitesi açısından kil minerali olması nedeniyle en iyi performansı doğal olarak bentonit sergilemiştir. Kum ve ponza ise kurşun ve kadmiyum metallerinde birbirine yakın değerler sergilerken krom, bakır ve nikel adsorpsiyonunda ponza kuma oranla çok daha iyi performans sergilemiştir.

2. Nitrat adsorpsiyonu bakımından kum-bentonit ve ponza-bentonit karışımları benzer özellikler sergilerken, fosfor adsorpsiyonunda ponza-bentonit karışımları çok daha başarılı bulunmuştur.

3. Malzeme karışımlarında yüksek düzeyde makro-mikro gözenek içermesi ve daha fazla adsorpsiyon yüzeyine sahip olmasından dolayı ponza kuma alternatif olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada özellikle bariyer malzemesi olarak 1:00-0.50 mm arasında boyuta sahip kum ve ponza örnekleri %30 oranında bentonit ile karıştırılarak optimum sıkışma koşullarında denemeye alınmış belirli konsantrasyonlarda çözeltiler uygulayarak testler gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda olabilecek daha yüksek ağır metal, fosfor ve nitrat konsantrasyonları, farklı bir kil minerali ve malzeme boyutu kullanılarak malzeme karakteristikleri daha ileri düzeyde incelenebilir.

#### Teşekkürler

Bu çalışma TUBİTAK (TOVAG – 1110713) tarafından desteklenmiş bir 1001 projesi çıktılarının bir kısmını içermektedir. Yazarlar

maddi desteklerinden dolayı TUBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadırlar.

#### Kaynaklar

- Adriano, D. C. 1986. "Heavy metals in the terrestrial environment", Springer-Verlag, New York.
- Anonim, 2000a. ASTM D5084 Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Poreous Materials using a Flexible Wall Permeameter, American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 125-132.
- Anonim, 2000b. ASTM D698 Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil using Standard Effort, American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 78-85.
- Çakmak, B., Gökalp, Z., Kendirli, B. 2013. "Sürdürülebilir Tarımsal Su Yönetimi", 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi, Cilt 1, s. 110-118.
- Çanbensan, 2010. Properties of Çanbensan Bentonite, Çanbensan Export Co., Ankara, Turkey, www.canbensan.com
- Duman, O. 2012. "Doğal nano killer ile atık suların Zn<sup>2+</sup> ve Pb<sup>2+</sup> ağır metallerinin giderilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Garden Pomza, 2010. Properties of Pumice, Garden Pomza Manufacture and Trade Co., Develi, Kayseri, Turkey, www.gardenpomza.com
- Gökalp, Z. 2009. "Engineering characteristics of sand-clay mixtures used for clay cores of earth-fill dams", Clay Minerals, 44, 319-326.
- Gökalp, Z., Başaran, M., Uzun, O. 2011. "Compaction and swelling characteristics of sand bentonite and pumice-bentonite mixtures", Scientific Research and Assays, 46(3), 449-459.
- Gökalp, Z., Başaran, M., Uzun, O. 2012. "Permeability characteristics of pumice-bentonite mixtures in comparison with sand-bentonite mixtures", Scientific Research and Essays, 7(31):2816-2826.
- Gökalp, Z., Çakmak, B., Şahin, M. 2013. "Constructed wetland technology for waste water treatment in rural areas" Proceedings of 1st Central Asian Congress on Modern Agricultural Techniques and Plant Nutrition, 01-03 October, Bishkek, Kyrgyzstan (Published also in Soil-Water Journal Volume 2(2):2115-2122.
- Gökalp, Z., Çakmak, B. 2013 "Doğal arıtma sistemlerinde karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri", 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi, Cilt 1, 119-126.
- McBride, M. B. 1989. "Reactions controlling heavy metal solubility in soils". Advances in Soil Science, 10, 1-56.
- Morera, M. T., Echeverria J. C., Mazkarian, C., Garrido J. J. 2001. "Isotherms and sequential extraction procedures for evaluating sorption and distribution of heavy metal in soils", Environmental Pollution, 113, 135-144.

- Pierzynski, G. M. 2000. "Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters". Southern Cooperative Series Bulletin No. 396.
- Scheidegger, A. M., Lamble, G. M., Sparks, D. L. 1996. "Spectroscopic evidence for the formation of mixed-cation hydroxide phases upon metal sorption on clays and aluminum oxides", *Journal of Colloid and Interface Science*, 186, 118–128.
- Turan, M., Ata, S., Gunes, A., Ataoglu, N., Esringu, A., Uzun, O., Ozgul, M., Canbolat, M. Y., Bogdan, I. 2004. "Determination of competitive adsorption and desorption of heavy metals by isotherm and sequential extraction methods in different soil orders in Erzurum". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4 (6), 20-33.
- Vega, F. A., Covelo, E. F., Andrade, M. L., Marcet, P. 2004. "Relationship between heavy metals content and soil properties in minesoils". *Analytical Chemistry Acta*, 524, 141-150.