

BİYOLOJİK ORİJİNLİ TEK DOĞAL MİNERAL: DİYATOMİT

Murat Çetin, Beyhan Taş*

Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü
Cumhuriyet Yerleşkesi 52200 ORDU

[*beyhant@odu.edu.tr](mailto:beyhant@odu.edu.tr)

Özet

Diyatomit, silisli algler (diyatome) olarak adlandırılan ökaryotik, tek hücreli, mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kabuklarından meydana gelen organik bir çökeldir. Diyatome biyolojik, ekolojik ve ekonomik yönden büyük öneme sahip, her türlü sucul ortamda yaşayabilen fotosentetik alglerdir. Diyatome hücre çeperlerinde silisyum olması onlara diğer algler arasında karakteristik bir özellik kazandırır. Suda erimiş silis oranının birden artması diyatome yaygınlaşmasına, öldükten sonra kabukların çözülmemesine ve diyatomit oluşumuna yol açmaktadır. Deniz, göl ve durgun nehir yataklarında çökelen bu rezervler, yer kabuğu hareketleri ile yükselerek beyaz görümlü tepelikleri meydana getirmektedir. Diyatome ilk defa 135-65 milyon yıl önce Kretase çağında çok büyük miktarlara ulaşmışlar ve bugün ticari değeri olan diyatomit yataklarının çoğunu ise Miyosen çağında (27-7 milyon yıl önce) meydana getirmişlerdir. Diyatomit (Kizelgur), biyolojik orijinli tek doğal mineraldir. Dünyada diyatomit rezervi bakımından en zengin kıta Avrupa olup, onu Amerika takip etmektedir. Türkiye'nin diyatomit rezervi 125 milyon tondur. Hırka (Kayseri) Türkiye'nin bilinen en büyük diyatomit yatağıdır (106 milyon ton). Diyatomit en fazla filtrasyon alanında kullanılır. Bunu dolgu alanındaki kullanımı izlemektedir. Yurdumuzda oldukça bol ve kaliteli rezervleri bulunan diyatomitin gereği gibi değerlendirilebilmesi için, her safhada gerekli ilgi ve desteğin sağlanması gerekir. Yurdumuzda bulunan diyatomit rezervlerinin ortaya çıkarılıp işletilmesi ve bu rezervlerin teknolojik değerlerinin saptanması, kullanım alanlarının çoğaltılması ve en önemlisi bu madenin kullanıcıya tanıtılması ilgili kuruluşların koordineli çalışmaları ile mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Alg, diyatome, diyatomit, kizelgur, diyatome toğrağı

A NATURAL MINERAL WITH BIOLOGICAL ORIGIN: DIATOMITE

Abstract

Diatomite is organic sediment structures made up from the fossilized shells containing silica of eukaryotic, unicellular, microscopic algae called siliceous algae (diatoms). Diatoms have a great importance as to biological, ecological and economic and are photosynthetic algae surviving in several aquatic environments. Due to silica in their cell walls, Diatoms have different characteristic features according to other algae groups. They show an important proliferation via increase of dissolved silica in water. After the death of these organisms, siliceous shells are insoluble in water and thus the sediments deposited in the bottom lead diatomite formation. These reserve areas found in the marine, lake and river beds rise because of earth crust movements and constitute white-looking mounds. Diatoms have achieved very large amounts for the first time in the Cretaceous era (135-65 million years ago). At the present time, diatomite with commercial value have constituted in Miocene era (27-7 million years ago). Diatomite (Kieselguhr) is the only natural mineral with biological origin. The European continent has the richest reserves in terms of diatomite reserve in the world and America has been following it. Diatomite reserve of Turkey is 125 million tons. Hırka (Kayseri) known in Turkey has the largest diatomite reserve (106 million tons). Diatomite is used mainly in filtration field. This use follows filling field. There are very abundant and high quality diatomite reserves in our country and in order to evaluate properly of these reserves necessary attention and support should be provided at all stages. The diatomite reserves of our country should be detected and determined their technological value. Their use fields should be increased and operated as efficient. Also, there is obligation to work co-ordinated of the organizations related with the introduction of the mine.

Keywords: Algae, diatom, diatomite, kieselguhr, terra silicea (diatomaceous earth)

1. Giriş

Diyatomit, diyatome (Bacillariophyta) adı verilen ökaryotik, tek hücreli, mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kabuklarından meydana gelen organik bir sedimanter kayadır. Diyatomların yaşam döngüsünü tamamlaması ile silisli kabukları bir araya toplanarak çökelmekte ve diyatomit rezervlerini oluşturmaktadır. Çok aktif diyatome kolonileri yılda birkaç mm kalınlıkta bir çökeltme hızına ulaşabilmektedir. Tür ve çoğalma hızları arasındaki farklılıklara rezervin oluştuğu ortam şartları da eklendiğinde, çökeltme hızı yılda 0.1-4 mm arasında değişebilmektedir [1]. Diyatomitin 1 cm³'ünde her biri 0.0001-4 mm çapında olan 1-30 milyon adet diyatome kabuğu ve bu kadar da gözenek bulunmaktadır [2-3]. İngilizce literatürde "Diyatomit" veya "Diyatome toprağı" olarak yer alan bu organik kökenli mineral, Almanca ve Fransızca literatürde "Kizelgur" adı ile geçmektedir [1]. Diyatomit, çok geniş kullanım alanına sahip biyolojik orijinli tek doğal mineraldir. Dünya'da en büyük diyatomit rezervi Avrupa'dadır. Bunu Amerika izlemektedir. Türkiye'de zengin diyatomit kaynakları bulunmasına rağmen, bu hammadde etkin bir biçimde kullanılamamaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri hammaddenin iyi tanınmamasıdır.

Diyatomit üretim teknolojisi 1930 yılından başlayarak gelişmiş; filtre yardımcısı, katkı maddesi, izolasyon ve refrakter malzemesi olarak ve spesifik kullanım amaçlarına uygun nitelikte diyatomit üretimi gerçekleştirilmiştir. Diyatomitlerin çimentolu sistemlerde kullanılmaya başlaması ise 1950'lerden sonra gerçekleşmiştir. Ülkemizde diyatomit üretimine yönelik çalışmalar Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde 1955 yılında başlamıştır [1].

Son yıllarda diyatomitin çeşitli kullanım alanlarına yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaları sınıflandırdığımızda; filtrasyon işlemleri [4-8], katkı maddesi veya dolgu malzemesi [9,10], katalizör taşıyıcısı [11], kimyasal madde hazırlanmasında silis kaynağı [12,13], izolasyon malzemesi imalinde [10-14], hafif yapı malzemesi, refrakter malzeme imali ve seramik hammaddesi olarak kullanımı [15-32] ile diğer kullanım alanlarına yönelik [33-47] birçok araştırmalar olduğu görülmektedir.

Türkiye'de iyi kalitede diyatomit rezervleri mevcuttur, fakat bu mineralin işlenerek iç ve dış piyasaya sunulması çok yetersizdir. Hatta bazı işletmelerin bu minerali ihraç ettiği bilinmektedir. Bu çalışmada, endüstride çeşitli alanlarda kullanılan diyatomitin önemini ortaya koyarak, diyatomit ile ilgili farklı alanlarda yapılan araştırmaları da dikkate alarak, diyatomitin tüm özelliklerinin ve kullanım alanlarının tanıtılması, diyatomit ile ilgili bir derleme kaynak olması ve araştırma yapacak kişilere kaynak oluşturması amaçlanmıştır. Yurdumuzda mevcut önemli maden ve mineral işletmeciliğinin teşvik edilmesi, diyatomit kullanımının artırılması ve ekonomimize katkı sağlaması umulmaktadır.

2. Diyatomelerin Genel Özellikleri

Algler, sucul ekosistemde besin zincirinin primer üreticileri ve ekosistemdeki değişiklikleri yansıtmada biyomonitör organizmalardır. Algler, yapılarında buldukları pigmentler sayesinde su ortamındaki besin değerinin ve çözünmüş oksijen oranının artması sağlar [48]. Dünyadaki toplam karbon fiksasyonunda büyük bir öneme sahiptir. Organik kirliliğin ve ötrofikasyonun biyoindikatörü olarak çok iyi sonuç veren bir gruptur. Kirli suların temizlenmesinde süzgeç görevi yapar ve bir çeşit doğal arıtma görevi görürler. Yapılan çalışmalarla alglerin özellikle ağır metal gideriminde de kullanıldıkları ve oldukça olumlu sonuçlar alındığı tespit edilmiştir [49-52]. Bentik algler akarsu ve göl ekosistemlerinin en önemli üyeleridir ve oldukça zengin tür çeşitliliğine sahiptir. Bentik algler su kirlilik derecelerinin belirlenmesinde indikatör olarak kullanılırlar. Round [53]'a göre epilitik diyatomlar suyun kalitesinin belirlenmesinde ve su kalitesindeki değişimleri izlemede uzun vadede kullanılan önemli organizmalardır. Bazı AB ülkelerinde yürürlükteki Su Çerçeve Direktifi (SÇD, 2000) ile (WFD-Water Framework Directive, Avrupa Birliği Parlamentosu 2000/60/EC) kapsamında, bentik diyatomeler su kaynaklarının ekolojik açıdan kalitesinin belirlenmesi için temel organizmalardır.

Alglerin önemli bir grubunu oluşturan diyatomeler (Bacillariophyta); biyolojik, ekolojik ve ekonomik yönden büyük öneme sahip, her türlü akuatik sistemde, hatta nemli topraklarda bile yaşayabilen fotosentetik protistlerdir. Bazı diyatom türlerinin ekolojik özgüllüğü ve kolaylıkla toplanabilir olması, su kalitesinin çevresel göstergeleri (indikatör) olarak kullanılmasına imkan verir. Özellikle pH, iletkenlik, tuzluluk ve trofik yapı göstergesi olarak indikatör diyatomlar kullanılır [54]. Bentik diyatomlar akarsu kirlilik indikatörü olarak Avrupa'nın birçok ülkesinde kullanılmaktadır [55-66] ve bu amaçla geliştirilmiş birçok indeks bulunmaktadır. Ülkeler biyolojik zenginliklerine göre, özellikle diyatome taksonları göz önüne alınarak, akarsularının kirlilik durumlarını belirlemek ve kontrol altında tutmak için çeşitli diyatome indeksleri geliştirmişler ve bu tip indeksleri su kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadırlar [67].

Sarı ya da kahverengi olan diyatomeleler, organik bir matris içerisine gömülmüş hidratlı silisten meydana gelen, kendine özgü cam gibi hücre duvarlarına sahiptirler. Her duvar, bir kutu ve bu kutuyu örten kapak gibi iki parçadan meydana gelmiştir. Diyatome kabuğuna “früstül” adı verilir. Büyük ve yaşlı olan üst kapağa “epiteka”, alttaki daha küçük ve daha genç kapağa ise “hipoteka” denir. Bu her iki teka birbiri üzerine kapanan bağlantı bantlarına sahiptir. Diyatomelelerin sitoplazması merkezi bir vakuolün etrafını saran ince bir tabaka halindedir. Hepsi tek nükleuslu olan diyatomelelerde, nükleus pennat formlarda sitoplazmanın vakuol içerisine uzanan kolları üzerinde, sentrik formlarında ise doğrudan sitoplazma üzerinde yer alır. Kromatoforlar genellikle parietal konumdadır. Diyatomelelerde hücre çeperinin ana maddesi pektindir, buna %95’e kadar değişebilen oranda silis iştirak eder. Çeperlerinde bu şekilde silisyum olması diyatomelelere diğer algler arasında karakteristik bir özellik kazandırır.

Diyatom früstüllerinin yüzey modelleri çok karmaşıktır ve valva yüzeyleri besin geçmesini sağlayan porlar ve düzgün motifleri olan yükselmiş bölgelerden meydana gelir. Bu yapılar “sekonder yapılar” adını alıp, diyatome sistematğinde çok önemlidir [68].

Diyatomelelerin hücre şekilleri genellikle bilateral veya radyal modeller şeklindedir. Diyatomelelerin; kabuğun ortasında bulunan bir noktanın etrafında ışmsal doğrultuda (radyal) dizildiği tipleri “sentrik”, silisli çizgi veya noktaların bir eksensel çizgiye göre simetrik veya asimetrik iki taraflı (bilateral) olarak dizildiği tipleri “pennat” diyatome olarak adlandırılır. Pennat diyatomelelerin alt ve üst valvalarında “rafe” denilen yarıklar bulunur. Rafe bazen valvaların tam ortasında bazen de valvaların kenarında bulunabilir. Bazı türlerde sadece valvada rafe bulunur. Rafelerin yeri ve biçimi diyatomelelerin sistematğinde önemli rol oynar. Bazı türlerde yalancı rafe oluşumları da tespit edilmiştir [69]. Diyatomelelerin valvalarında rafe içeren türleri hareketlidir.

Şekil bakımından fevkalade zenginlik gösteren, küçük, esmer renkli, tek hücreli veya koloni halinde yaşayan diyatomeleler özellikle tatlı su, deniz ve okyanusların en önemli planktonik organizmalarıdır. Ayrıca lotik ve lentik sistemlerin bentik kısımlarında da önemli popülasyonlar oluşturup biyomasa katkı sağlarlar. Pek çoğu birbirleri ile musilajlı bağlantılar sayesinde birleşerek boyları birkaç cm’yi bulan zincirler meydana getirirler. Diyatomeleler buldukları yerde sayıca çok fazla çoğaldıkları zaman, buldukları yüzeyi kahverengi bir örtü halinde örterler.

Diyatomeleler sadece tek hücre veya hücre zincirleri halinde olmasına rağmen, tanınan 285 cins ile [70] 10 000-12 000 türü kapsayan [71] büyük bir alg grubudur. Diyatome çeşitliliği algler içinde sadece yeşil alglerle rekabet halindedir [72]. Bazı uzmanlar birçok diyatome türünün tanımlanacağına ve çoğu diyatome türlerinin aslında milyonlarca sayıda olabileceğine inanmaktadırlar [71]. Her diyatome türünün kendine özgü geometrik şekli, gözenek yapısı ve büyüklüğü vardır. Büyüklükleri 2-500 µm arasında değişir. Ülkemizde diyatome rezervlerinde 5-150 µm arasında değişen büyüklüklerde diyatome türlerine rastlanmaktadır [1].

Diyatom çeperleri kuru silisyum ihtiva eder ve hiçbir element bunun yerini tutamaz. Diyatomelelerin gelişebilmesi için mutlak suretle silisyuma ihtiyaç vardır. Diyatomelelerin büyümesini destekleyen diğer kimyasal elementler de ortamda mevcut ise, bu takdirde gelişmesi silisyum konsantrasyonu ile doğru orantılı olacaktır. Çok fazla miktarda silisleşmiş formlarda, silisyum organizmanın kuru ağırlığının %50’si kadar bir miktarını teşkil edebilir. Diyatomeleler suda erimiş silisin en büyük tüketicisidirler. Kil mineralleri ile radyolara ve süngerlerle birlikte sudaki silis oranını denetlerler. Suda erimiş silis oranının birden artması ise diyatomelelerin daha da yaygınlaşmasına, öldükten sonra kabuklarının çözülmemesine ve dolayısıyla diyatome oluşumuna yol açmaktadır [73].

Suda silisin artması iki yoldan gerçekleşebilir: Volkanizma sonrası termal etkinlik ve silikat ayrışımı sonucu açığa çıkan silis yoluyla [74].

Diyatomelelerin gelişmesi için oluşması gereken şartlar şunlardır [75,76]:

- Yeterli miktarda silis (SiO₂) bulunmalıdır. SiO₂ miktarı 1-5 mg/l olan sulara oluşan tortul kayalar diyatome bakımından zengindir. Bu halde temiz ve saf bir diyatome rezervi oluşur.
- Nötr veya hafif alkali sular gelişmeyi hızlandırmaktadır.
- Diyatome cinsine göre düşük su sıcaklığı istenip, 3 -16 °C arasında olmalıdır.
- Düşük bir fosfat ve nitrat içeriği olması gerekli olup, bu halde diyatomeleler diğer mikro-flora üzerinde hakim olarak gelişirler ve sonuç olarak sudaki pH değeri düşmez.
- Fotosentez olayının olması gereklidir. Bunun için yatağın fotosentezi engellemeyen derinliklerde (35 m veya daha az) olması gerekir.
- Besleyici miktarının fazla olması gerekir. Bu da havzada diyatome gelişme ve üremesini engelleyen bir durum

olmamasıyla sağlanır.

f. Toksik madde olmamalıdır. Havzadaki evaporasyonun, havzayı besleyen akışlardan düşük olması gerekir. Su bileşiminde diyatomların gelişmesine engel olacak bir fazlalık bulunmamalıdır.

g. Klasik tortul materyalin miktarı minimum olmalıdır. Bu aynı zamanda diyatomitin ekonomikliği için de gereklidir.

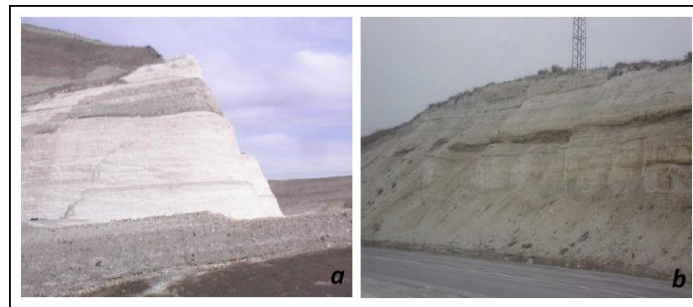
Diyatomeler Jurasik'den bu yana yaşarlar. Denizel formlar daha iri kavkılı (kabuk) olurlar. Diyatomelerin asıl gelişmeleri Eosen'de olduğu için bu devire ait diyatome toprağı (diyatomit) yatakları fazlasıyla yaygındır. Diyatomitin oluşabilmesi için, dip çökellerinde organik madde bulunması, suda karbonatın kıt olması, ortama sürekli silis taşınması, kırıntılı sedimantasyonun çok kıt olması gerekmektedir. Göl ortamlarında derinlik büyük bir denetleyici etken değildir. Buna karşılık denizel ortamın kıyından az uzak ve sakin sedimantasyonlu olması düşünülmelidir [73].

3. Diyatomitin Tanımı ve Evrimi

Diyatomit, su yosunlarından silisli alglar (diyatomeler) adı verilen ökaryotik, tek hücreli, mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kabuklarından meydana gelen organik bir çökeldir [1,73,77]. Organizma öldüğü zaman tortu halinde çöker ve organik kısmı çürüyerek kaybolur. Böylece silisli kabukları birikir ve taşlaşarak diyatomit yataklarını meydana getirir [2,78,79]. Diyatomit, biyolojik orijinli tek doğal mineraldir. Diyatomit (kizelgur); “fosil unu”, “filis unu”, “dağ unu”, “beyaz turba” gibi isimler ile de anılmıştır [80]. Ayrıca diyatome toprağına “Terrasilicea”, “Moskof toprağı” gibi çeşitli isimler de verilmiştir [81]. Anadolu'nun bazı bölgelerinde pekmez sırasının süzülmesinde kullanıldığı için “pekmez toprağı” olarak adlandırılmaktadır. Kuzey İrlanda'da bulunan Bann Nehri boyunca uzanan killi diyatomit hafif tuğla yapımında kullanıldığı için “Bann kili”, İskoçya'da Aberdeenshire-Ballater yakınında turbalar altında bulunduğu için “beyaz turba” olarak adlandırılmıştır [82]. Danimarka'nın kil ve tüfle karışık diyatomitlerine ise “Moler, Molerde veya Moler earth” adı verilir [73].

Diyatomeler ilk defa 135-65 milyon yıl önce Kretase çağında çok büyük miktarlara ulaşmışlar ve bugün ticari değeri olan diyatomit yataklarının çoğu ise Miyosen çağında (27-7 milyon yıl önce) meydana gelmiştir. Bu dönemdeki volkanik faaliyetlerle sulardaki silis oranının yükselmiş olduğu ve diyatomlar için uygun bir yaşama ve çoğalma ortamı sağlandığı söylenebilir [1]. Sudaki erimiş silis oranı diyatomların büyüme ve çoğalma hızını belirler. Yaşanılan ortam ve diyatom türleri çoğalma hızlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Tek bir diyatom haftada en çok bir diyatom oluşturabildiği gibi, ayda bir milyar diyatom veren türler de vardır.

Diyatomelerin çeşitli nedenlerle yaşamlarının sona ermesi ile silisli kabukları bir araya toplanarak çökelmekte ve diyatomit rezervlerini oluşturmaktadır. Tür ve çoğalma hızları arasındaki farklılıklara bir de rezervin olduğu ortam şartları eklendiğinde, çökme hızı yılda 0.1-4 mm arasında değişebilmektedir [1]. 1 cm³ diyatomitte her biri 0.0001-4 mm çapında olan 1-30 milyon adet diyatome kabuğu ve bu kadar da gözenek bulunmaktadır [2-3]. Deniz, göl ve durgun nehir yataklarında çökelen bu rezervler daha sonraki yer kabuğu hareketleri ile yükselerek beyaz görümlü tepecikleri meydana getirmektedirler [1] (Şekil 1).



Şekil 1. Diyatomit rezervinin doğal görünümü; a. Nevada, Oregon/USA, b. Afyonkarahisar/Türkiye (Akbaba, 2007)

Daha çok volkanik sahalara yakın yerlerde tespit edilen diyatomit rezervleri, daha sonraki yer hareketleri ile kırılma ve kirlenmelere uğramış ve çağlar boyunca bu rezervler kil, kalker, kuvars ve volkanik küllerle karışık veya ardışık katmanlar oluşturmuşlardır [1]. Ayrıca volkanik küller diyatomitlerin içinde kirlenme etki yapmaktadır. Karbonat, kum, feldspat, mika, amfiboller, piroksenler, rutil, zirkon vb. mineraller diyatomit kayacında safsızlık olarak

bulunurlar [83,84].

Diyatomeli çökellerin Uygun [73]'un bildirdiğine göre, Taliaferro [85] tarafından 4 tipte toplanabildiği belirtilmiştir. Bunlar; okyanusal diyatome çamurları, bataklık tortulları, Pleistosen interglasyel göl oluşukları ve volkanizma ile ilişkili göl ve denizel çökellerdir. Bugün işletilen yatak tipleri Pleistosen interglasyel göl oluşukları ile volkanizma ile ilişkili göl ve denizel çökellerdir [73].

4. Diyatomitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Diyatomların hücre çeperleri (früstül) amorf silisten ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) oluşmuştur. Ancak bu opal (amorf silis) çeşitli oranlarda Al, Fe, Ca, Mg, Na, K elementlerinin silikatları ile birlikte bulunmaktadır. Zira az oranda da olsa diyatomun yaşamı için hücrede bu elementlere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Diyatomeler hayatlarını sürdürebilmek için silis kaynağına ihtiyaç duyduklarından, daha çok volkanik faaliyetlerin yoğun olduğu tatlı sular, az tuzlu göllerde ve deniz sularında yaşamaktadırlar [79,86,87].

Diyatomit; saf, kumlu, milli, killi, kireçli, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilir. Masif olabilir veya lâminalı tabakalanma da gösterebilir. Tane boyu dağılımı diyatomelerin cinsine ve iriliğine, kabukların tam veya kırık oluşuna, kil ve kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir [73]. Kayaç; yumuşak, hafif, mümkün olduğunca beyaz, ele alındığında kolayca dağılabilen tipte olmalıdır. Mineral örneğinin diyatomit olarak kesin tanısı mikroskopik görünüşüdür. Diyatomit rezervden alındığında pH'ı 5-9 arasında değişir. Diyatomitin kayaç olarak sertliği Mohr ölçeğine göre 1.5 civarındadır, fakat silisli kavkının kendi sertliği 4.5-5.0 arasındadır [1]. Diyatomitin basınç dayanım değeri $3-18 \text{ kgf/cm}^2$ arasındadır [73,88]. Diyatomitin en önemli özelliği olan gözenekli yapısı %80-85'lik bir porozite sağlar. Su (sıvı) emme kapasitesi oldukça yüksektir. İşlenmemiş halde ağırlığının 3-4 katı, kalsinasyondan sonra ise ağırlığının 5-10 katı kadar su emebilir. Porozite yapısının bir sonucu olarak spesifik yüzey alanı oldukça yüksektir. Isı iletkenliği son derece düşüktür. Düşük sıcaklıklarda, $100-300^\circ\text{C}$ de $0.08 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{h}$, 800°C ve yukarısında ise $0.11 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{h}$ mertebesindedir. Diyatomitin erime noktası, bileşimindeki safsızlıklarla ilgili olarak $1000-1590^\circ\text{C}$ arasında değişir. Bu hali ile refrakter hammadde tanımı içine girer [1]. Diyatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup, yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak da sadece HF (hidroflorik asit)'den etkilenir [11].

Türkiye'de bulunan 13 farklı diyatomit yatakları üzerinde yapılmış olan araştırma sonucunda, diyatomitin kimyasal özellikleri bakımından ana bileşenlerinin maksimum ve minimum değerleri Çizelge 1-a'da, diyatomitin ticari değer taşınması ve mineralin aktif kizelgur (işlenmiş hazır diyatomit) üretiminde kullanılabilmesi için olması gereken sınır değerler Çizelge 1-b'de verilmiştir.

Çizelge 1-a. Türkiye'deki diyatomit örneklerinin kimyasal bileşim değerleri [89],
b. Diyatomitin ticari değeri bakımından kimyasal bileşim sınır değerleri [19]

a.

Kimyasal Bileşen	% Min.	% Max.
SiO_2	65.42	87.48
Al_2O_3	0.81	3.42
Fe_2O_3	0.64	2.48
CaO	0.71	9.37
MgO	0.39	7.20
A.K. (900°C)	3.54	13.42

b.

Bileşenler	Sınır Değeri (%)
SiO_2	en az 85
Al_2O_3	en çok 5
Fe_2O_3	en çok 1.5
CaO	en çok 1
MgO	en çok 0.5
Alkali oksitler	en çok 1
Kızdırma kaybı	en çok 6

Diyatomit aynı zamanda doğal bir puzolandır. Doğal puzolanlar, binlerce yıldan bu yana söndürülmüş kireçle birleştirilerek su altında da sertleşebilen ve suya dayanıklı harç ve bir tür beton yapımında kullanılmıştır. Portland çimentosunun icadından sonra da hem doğal puzolanlar hem de yapay puzolanlar portland çimentolu beton yapımında mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Gerek betonun birçok teknik özelliğini olumlu yönde değiştirmeleri, gerekse portland çimentosundan daha ekonomik olmaları ve beton karışımının içerisinde çimento ağırlığının %50'sine varan miktarlarda kullanılmaları nedeniyle, puzolanik katkı maddelerinin beton endüstrisinde

çok önemli yeri bulunmaktadır [90].

5. Diyatomitin Dünya’da ve Türkiye’deki Rezervleri

Dünyada rezerv bakımından en zengin kıta Avrupa olup onu Amerika takip etmektedir. Dünya diyatomit rezervinin kıtalara göre dağılımı Çizelge 2’de verilmiştir. Bilinen yataklarda 250 milyon tonu ABD’de olmak üzere 800 milyon ton işletilebilir diyatomit rezervi vardır. Ayrıca, 2 milyar ton kadar olan toplam potansiyel rezervin yarısından fazlası Avrupa kıtasında, kalanı ise ABD, Kazakistan ve Özbekistan’da bulunmaktadır [91]. Türkiye’nin diyatomit rezervi 125 milyon tondur. Kaliteli rezerve sahip olmamıza rağmen üretimimiz çok yetersizdir.

Çizelge 2. Dünya diyatomit rezervleri [11]

	Rezervler (Milyon Ton)
Kuzey Amerika	
ABD	500
Diğer	100
Afrika	20
Asya	50
Avrupa	1 200
Avustralya	20
Güney Amerika	100
TOPLAM	2 000

Türkiye’nin volkanojen Neojen’inde diyatomitlerin oluşması yaygındır. Bunlar yörelerine göre 4 grupta toplanabilirler:

1) *İç Anadolu’nun güneydoğusu*; Kayseri, Nevşehir ve Niğde illerinde diyatomit zuhurları boldur. Hırka (Kayseri) Türkiye’nin bilinen en büyük yatağıdır. Kayseri’nin 30 km kadar kuzeyinde, Emmiler-Hırka Neojen havzasında yer alır. Hırka üyesi diyatomitli seviye olup toplam 21 m kalınlığa ulaşan diyatomitlerle değişik kalınlıkta kil, mil ve tüfitik kum ara katkılarında yapılıdır. Arazide tabandan tavana doğru dizilen kumlu, saf, killi ve kireçli dört diyatomit litotipi ayırt edilmiştir [92]. Ayrıca Keprin-Toklar, Melenki, Oymağağaç, Beydeğirmen köyleri yakınında diyatomit zuhurları bulunmaktadır. Ürgüp yakın dolayında da diyatomit zuhurları yer alır [73,93]. Aksaray ilinin 45 km güneydoğusunda İhlara vadisinde bulunan Melendiz Çayı’nda yapılan bir jeolojik çalışmada, Gabriel ve Malecha [94] vadinin Belisırma mevkinde bulunan diyatomitin 15-20 m kalınlığındaki tabakalar halinde olup geç Pleosen zamanında oluştuğunu bildirmiştir. %40’ından fazlası diyatome kabuklarından meydana gelen bu toprağın endüstride geniş bir kullanım alanı vardır. Yapılan çalışmalar sonucunda buradaki kaynaktan bulunan diyatomitlerin hemen hepsinin tatlı su habitatlı olduğu belirlenmiştir [95].

2) *Ankara-Çankırı Bölgesi*; Çankırı il sınırları içinde Çerkeş-Orta-Şabanözü ilçeleri arasında kalan bir alanda Akhasan, Karaağaç, Bastak diyatomitleri yer alır. Bunların bir kısmı işletilmektedir. Ankara il sınırları içinde ise Güvem-Gürcüköy ile Ayaş’ın Başberket ve Gücügöz zuhurları bilinmektedir [73,96]. Aruntaş ve ark. [97]’nin çalışmalarına göre; Ankara ve Çankırı yöresi diyatomitlerinin amorf yapıda, nem ve su emme değerlerinin yüksek, özgül ağırlıklarının 2.0 g/cm³’den küçük, yüksek gözenekli mikro yapıya sahip saf bir malzeme olduğu belirlenmiştir. Fiziksel özellikler yönünden, her iki diyatomit de ticari diyatomit niteliği taşımaktadır. Kimyasal kompozisyon açısından ise, yalnız Ankara diyatomitleri’nin filtrasyon malzemesi olarak kullanılabilceği söylenmiştir. Diğer taraftan her iki diyatomit de, portland çimentolu betonlarda puzolanik malzeme olarak kullanılabilir. Kütahya yöresi diyatomitleri ile benzer özellikler gösterdiğinden dolayı izole tuğla yapımında ve yüksek gözenekli mikro yapıda olması nedeniyle de yapılarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

3) *Batı Anadolu Bölgesi*; Bu yörede Afyon-Şeydiler, Kütahya-Alayunt, Uşak-Kayağıl diyatomitleri araştırılmıştır. Aydın-Karacasu, Denizli-Tırkaz ve Karakıran zuhurları da tanınmaktadır. Bunun yanısıra Balıkesir-Gönen ile Bursa-Orhuneli’nde de diyatomite rastlanılmıştır. Kütahya-Alayunt diyatomitleri muhtemel 15 milyon ton rezervlidir ve %92 SiO₂, %75 SiO₂, %55 SiO₂ tenörlü olmak üzere 3 farklı kalitede damar şeklindedir. Bu diyatomitler için şimdiye kadar farklı araştırmacılar tarafından çeşitli özellikleri araştırılmıştır [98-100]. Afyon ve çevresinde bulunan diyatomitlerin kabuk şekli açısından yapıları çubuk şeklinde olan hücrelerden oluştuğu bildirilmiştir [76]. Bentli

[10]'nin Kütahya-Alayunt diyatomit cevheri üzerinde yaptığı zenginleştirme işlemleri sonucunda; yatağın önemli bir potansiyel olduğu ve ham haliyle bile ticari diyatomit sınıfına girdiği belirlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda hidrosiklon zenginleştirme ürününün dolgu ve seramik sanayinde, hidrosiklon ve kalsinasyon ile elde edilen ürünün ise filtrasyon alanlarında kullanılabilecek özelliklerde olduğu saptanmıştır.

4) *Doğu Anadolu Bölgesi*: Literatüre ayrıntılı olarak geçmiş bir zühur yoktur, bununla birlikte Neojen'deki linyit araştırmalarında diyatomeli killere rastlanılmış olması, ayrıca bölgede volkanizmanın çok yaygın bulunması bu bölgede de diyatomit yataklarının olabileceğini göstermektedir. Hacim yönünden en büyük yataklar İç Anadolu'nun güneydoğusunda toplanmıştır. Türkiye diyatomitleri genellikle tatlı su ortamlarının küçük, planktonik diyatomelerinden oluşan, kil ve tuf, tüfit ara katkılı çökeltilerdir [73].

6. İşlenmiş Diyatomit ve Zenginleştirilmesi

Dünyada diyatomit yatakları genel olarak üç şekilde işletilmektedir. Bunlar galeri, açık işletme ve sualtı metotlarıdır. Galeri ve sualtı metotları, çok derinde ve oluşum yeri henüz kurumamış nispeten genç damarlara ulaşmak için kullanılmaktadır. Fakat dünyada ve yurdumuzda en yaygın olarak uygulanan şekil açık işletmecilik metodudur. Diyatomit; doğal, kalsine ve flaks kalsine olarak tüketime sunulmaktadır. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Diyatomit Fabrikası'nda üretilen muhtelif ürünlere ait spesifikasyonlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Diyatomit Fabrikası ürünlerinin özellikleri [11]

AFT.5	Flaks-kalsine				Kalsine
	Naturel	No.2	No.3	No.4	No.2
SiO ₂	87.3	89.91	92.75	93.47	92.68
Fe ₂ O ₃	1.95	1.72	1.39	1.1	1.83
Al ₂ O ₃	3.23	2.4	1.66	1.13	2.6
CaO	1.09	1.02	0.76	0.66	0.66
MgO	0.45	0.3	0.24	0.2	0.44
Na ₂ O	0.47	3.49	2.45	2.13	0.89
K ₂ O	0.44	2.26	0.22	0.2	0.34
Kızdırma Kaybı	4.43	0.5	0.5	0.5	0.5
Renk	Kirli beyaz	Beyaz	Beyaz	Beyaz	Pembe
Gevşek Ağırlık (g/l)	107.6	100	90	80	95
pH (20°C)	4.49	10	10	10	7
Ortalama çap (mikron)		20	10	7	15
Spesifik yüzey		0.60	0.9	1.15	0.65

Diyatomit zenginleştirmede en sık kullanılan zenginleştirme yöntemleri arasında boyuta göre sınıflandırma (havalı ayırıcılar, mekanik karıştırma, hidrosizer, hidrosiklon), kalsinasyon yöntemleri ve bunların kombinasyonları gelmektedir [78,101,102]. Diyatomitten kum, kuvars gibi safsızlıkları uzaklaştırmada havalı ayırıcı, mekanik karıştırıcı, hidrosizer ve hidrosiklon; nem, organik madde ve karbonatlı bileşikler uzaklaştırmada kalsinasyon; demir oksit ve alüminyum oksit uzaklaştırmak istendiğinde ise alkali kalsinasyon yöntemleri uygulanmaktadır.

Bentli [103], Kütahya-Alayunt diyatomit cevherini suda bekletme + mekanik karıştırma + sınıflandırma yöntemleri ile zenginleştirilebilirliğini araştırmıştır. Bu amaca yönelik olarak zenginleştirme parametrelerinden en uygun tane boyutu, suda bekletme süresi, katı oranı, karıştırma hızı ve süresini tespit etmiştir. Tuvenan Kütahya -Alayunt diyatomit cevheri %84.42 SiO₂, %1.55 FeO₃, %5.02 Al₂O₃, %0.96 CaO, %0.74 MgO, %0.62 Na₂O, %0.60 K₂O ve %6.09 ateş yatağı içerir. Zenginleştirme sonucunda %91.26 SiO₂ içerikli bir diyatomit konsantresi, %67.76 safsızlıktan uzaklaştırma verimi ile üretmiştir. Bu konsantrenin de ticari olarak süzme ve dolgu alanlarında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Diyatomit sektöründe faaliyet gösteren uluslararası bir organizasyon yoktur. Diyatomit sektörü genellikle bu alanda faaliyet gösteren büyük Amerikan şirketleri tarafından yönlendirilmektedir. Bunların başında Johns-Manville Corp.,

Grefce Inc., Eagle-Picher Ind. ve Witce Chemica Corp. gelmektedir [11].

Diyatomit üretimde Dünya’da ABD birinci durumdadır. 1986 yılı üretimi 640 000 tondur. Romanya ise Avrupa’da büyük bir atılım gerçekleştirmiş ve 1983’te 360 000 ton diyatomit üreterek lider durumuna geçmiştir. Romanya’yı Fransa ve Rusya izlemektedir. Dünya diyatomit üretimine ait İngiliz Jeolojik Araştırmaları-Doğal Çevre Araştırma Konseyinin (British Geological Survey-Natural Environment Research Council) araştırmalarına göre 1999-2002 yılları arasında ABD üretimde lider durumdadır (toplam 2 692 000 ton). Türkiye ise 1999 yılında yaklaşık 6 000 ton diyatomit üretmiş, fakat takip eden üç yıl boyunca üretim yapmamıştır.

7. Diyatomitin Kullanım Alanları

Diyatomitin kullanım alanları son derece çeşitlidir. Başlıca şu gruplarda toplanabilir:

- *Her türlü filtrasyon işlemlerinde filtre yardımcı maddesi*; şeker fabrikasyonunda, bira, şarap, meyve suyu, meşrubat ve her türlü içecek üretiminde, hayvani, nebati, makina ve yağlama yağlarının süzülmesinde, atık suların, havuz sularının filtrasyonunda, kuru temizleme çözeltilerinin geri kazanılmasında, ilaç sanayindeki süzme işlemlerinde, asit ve kimyasal madde üretiminde ve daha pek çok hassas veya kaba süzme gerektiren işlemlerde,
- *Dolgu malzemesi*,
- *Katkı maddesi*; boya, diş macunu, lastik, plastik, ilaç, kozmetik, kağıt, kibrit, cila, sır, temizlik maddesi ve benzerlerinin imalatında,
- *Katalizör taşıyıcısı olarak kimyasal reaksiyonlarda*,
- *Silis kaynağı olarak birçok kimyasal madde hazırlanmasında*,
- *İzolasyon malzemesi imalinde*; ısı, ses ve elektrik iletkenliğinin son derece düşük olması nedeniyle,
- *Hafif yapı malzemesi ve refrakter malzeme imalinde ve genelde seramik hammaddesi*,
- *Absorbent*,
- *Aşındırıcı ve yüzey temizleyici*,
- *Gübrelerde taşıyıcı ve topraklanmayı önleyici* olarak geniş uygulama alanları vardır [1,11].

7.1. Diyatomitin Kullanım Alanlarının Tarihçesi

Diyatomitin dünyada kullanımı çok eskilere dayanır. MS 530 yılları civarında İstanbul’da inşa edilen Ayasofya’nın kubbesinde hafifliğinden dolayı diyatomit tuğla kullanıldığı bilinmektedir [1]. İlginç bir kullanım alanı olarak; Avrupa’da 30 yıl savaşları sırasında, diyatomit una karıştırılarak ekme yapılımıştır. Bu ekmeğin lezzetli fakat çignenmesi ve hazminin güç olduğu bildirilmiştir [96,104]. Diyatomitin yakın tarihlerde bilimsel olarak ilk kullanımı, Nobel tarafından (1867) dinamit yapımında, nitrogliserin diyatomitin 3:1 oranında karışımı ile taşınabilir bir patlayıcı eldesi ile gerçekleştirilmiştir. 19. yüzyılın ikinci yarısında şeker kamışı endüstrisi için yayınlanan iki patent (1886) ile (1893) Almanlar tarafından geliştirilerek şeker pancarı endüstrisinde diyatomitin filtre yardımcısı olarak kullanımına ilişkin patentlerden sonra, o ana kadar dolgu ve izolasyon maddesi olarak kullanılan diyatomitin filtre yardımcısı olarak kullanımı konusunda da araştırma ve uygulamalara başlanmıştır. Ancak yeterli ve kaliteli diyatomit rezervlerinin bulunması ve rezervin filtre yardımcısı üretilmek üzere işletilmesi oldukça yavaş gelişmiştir. Gerek Amerika’da gerek Avrupa’da diyatomitin katkı ve izolasyon maddesi olarak kullanımı uzun yıllar önemini sürdürmüştür. Kaliteli diyatomit yataklarının ortaya çıkarılması ve aktif diyatomit eldesi için üretim metodlarının geliştirilmesi ancak 20. yüzyılın başlarında hızlanmıştır. Amerika-Kaliforniya’daki Santa Barbara County diyatomit rezervinin bulunması ve ekonomik olarak işletilmesi, bir kaç el değiştirilmesinden sonra 1912’de Amerika Kizelgur Şirketi tarafından başlatılmış ve 1917’de bu şirket, Celite adını alarak diyatomit üretim teknolojisinde büyük gelişmeler kaydetmiştir. Bu firma, şu anda dünyanın en ünlü diyatomit üreticilerinden olan Johns-Manville’in nüvesini teşkil etmiştir [1].

Diyatomitlerin çimentolu sistemlerde kullanılmaya başlaması, 1950’lerden sonra gerçekleşmiştir. Diyatomitler, kalsine edildikten sonra birçok baraj yapımında kullanılmıştır [105]. Örneğin; ABD’de doğal puzolan olarak değerlendirilen diyatomit, 1957 yılında yapımı tamamlanan Monticello Barajı yapısında pişirilmiş toprak şeklinde kullanılmıştır [90].

Almanya’da başlatılan diyatomit üretim çalışmaları, I. Dünya Savaşı yıllarına rastlayan bu dönemde maalesef yeterince izlenememiştir [1].

Günümüzde, dünya diyatomit tüketiminin %60’ını filtre yardımcısı olarak kullanımı teşkil etmektedir. Bu noktaya

sürekli araştırmaya yönelik çalışmalarla varılmıştır. Filtre yardımcısı filtrasyonun diğer filtrasyon işlemlerine üstünlüğü belirlendikten sonra uygun filtre cihazlarının dizaynı ve bu filtre cihazlarında kullanılacak diyatomit filtre yardımcılarının özellikleri belirlenmiş ve üretim teknolojisi böyle kombine bir çalışma ile ortaya çıkmıştır. Gerek araştırma merkezleri gerek üretim birimleri ile bilinen diyatomit üretici firmaları; Amerikan Johns-Manville, Grefco ve Eagle Picher firmalarıdır. Genellikle Amerika ve Kanada'daki diyatomit rezervlerini işletmektedirler. Bu üreticileri daha düşük kapasite ile Fransız Ceca firması, ağırlık Cezayir'deki diyatomit rezervi olmak üzere Fransa'daki yatakları işletmektedir. Bunların dışında sayıları çok olmayan daha düşük kapasiteli diyatomit üreticileri de vardır.

Diyatomit üretim teknolojisi 1930 yıllarından başlayarak gelişmiş; gerek filtre yardımcısı, gerek katkı maddesi, gerek izolasyon ve refrakter malzemesi olarak ve gerekse spesifik kullanım amaçlarına uygun nitelikte diyatomit üretimi gerçekleştirilmiştir [1].

Türkiye'de diyatomit yataklarının MTA Genel Müdürlüğü tarafından tespitinden önce, köylerde tebeşir olarak ve badana işlerinde kullanıldığı bilinmektedir [96].

Ülkemizde diyatomit üretimine yönelik çalışmalar Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde 1955 yıllarına dayanmaktadır. 1967 yılından sonra Ankara'daki Şeker Araştırma Enstitüsü'nde diyatomit üretimi ile ilgili çalışmalara daha geniş olanaklar içinde devam edilmiştir. Bu yıllarda MTA tarafından da Türkiye'nin diyatomit rezervlerini ortaya koyan bir rapor yayınlanmıştır. Bu envantere göre ülkemiz diyatomit rezervi bakımından oldukça zengin sayılmaktadır. Diyatomit üretimi çalışmaları, 1980'li yıllarda aktif bir diyatomit fabrikası kurulmasıyla sonuçlanmıştır [1].

7.2. Diyatomitin Kullanım Alanlarındaki Avantajları

Diyatomitin kullanım alanlarındaki avantajları aşağıda ayrıntılı olarak maddeler halinde sunulmuştur.

7.2.1. Filtrasyon İşlemlerinde

Diyatomitin %85-90 gözeneklilik derecesine sahip bir doku meydana getirebilecek özel yapısı, kimyasal etkilere karşı direnci ve steril özelliği nedeniyle en çok tüketildiği, yerine konulan ürünlere göre hemen hemen rakipsiz olduğu kullanım alanı, süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemleridir [106,107]. Gözenekli yapısı, geniş süzme yüzeyi sağlaması, yağ ve bazı mikroorganizmaları absorbe etmesi ve hacimli olması nedeniyle filtrasyon hızını ve randımanını da artırmaktadır [4,108]. Bu uygulamada filtre yardımcısı malzemesi bez, elek, gözenekli taş veya metalden yapılan destek yüzeyleri üzerine biriktirilerek filtrasyon keki oluşturmak suretiyle veya doğrudan doğruya süzülecek sıvıya ilave edilerek kullanılır. Filtrasyon işlemi sırasında süzülmekte olan sıvıya kontrollü olarak dozajlama şeklinde ilave edilmek suretiyle kekin gözenekliliği korunur. Böylece istenilen süzme hızı ve berraklık derecesini elde etmek mümkündür. Yardımcı malzeme kullanılması süzme periyodunu uzatmakta, istenilen hız ve berraklıkta süzme yapılabilme imkanını sağlamakta ve işlemi kolaylaştırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı işletme giderleri ve işçilikte önemli tasarruflar sağlanmaktadır [11].

Ham şeker şerbeti (glikoz), bira, viski, şarap, meyve suları, şurup, madeni ve nebati yağlar, eczacılık mamulleri, kirli sular, kuru temizleme çözücüler, endüstriyel atıklar, kimyasal maddeler, vernikler gibi içerisinde süspansiyon halinde istenmeyen maddeler bulunduran sıvıların arındırılmasında diyatomit faydalanılır [109]. Diyatomit kullanımı filtrasyon alanında %66 ile en fazla paya sahiptir ve minimum %84 SiO₂ içermesi istenmektedir. Diyatomitin en büyük pazarının filtrasyon alanı olmaya devam ettiği ve bira filtrasyonunda %95 oranında diyatomit kullanıldığı bildirilmektedir [6]. Daha da önemlisi meyve suyu, bira, şarap gibi içki tüketimlerinin, turistik tesislerdeki yüzme havuzlarının ve nüfusun artması ile diyatomite olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Ülkemiz Şeker Fabrikaları pancar şerbetlerinin süzülmesinde daha önceleri diyatomit kullanmaktaydılar. Ancak günümüzde pancar şerbeti süzmede diyatomit yerine perlit kullanılmaktadır [5].

Diyatomitin en çok tüketildiği alan olan filtrasyonda kullanılabilmesi için ısıtma işlemi (kalsinasyon) tabii tutulması gereklidir. Diyatomit cevheri kalsinasyon sonrasında kütle kaynaşması nedeniyle agrega haline gelmekte, kavkılar gelişmekte böylece süzme hızı artmaktadır [7].

Şan ve ark. [8]'nin yaptığı bir çalışmada, silika altlık üzerine zenginleştirilmiş diyatomit tozu kaplanarak üretilmiş

membran filtre, Kütahya-Türkmendağı'ndan çıkan kaynak suyunun süzülmesinde test edilmiştir. Termal genişmesi düşük beta-kristobalit seramik tozunun doğal silika hammaddelerinden olan diyatomit üretilmesi ve kapiler seramik filtre yüzeyine kaplanması ve böylece süzme performansı yüksek kapiler filtre üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, filtrenin nano-boyutta kil içeren kaynak suyu filtrasyonunda başarı ile kullanılabilirliği gösterilerek malzemenin ticari potansiyeli ortaya çıkartılmıştır. Bilindiği gibi mikron altı boyutta ve özellikle kil şeklindeki partiküllerin bulunduğu bir suyun filtrasyonu son derece zordur. Partiküller, filtre gözeneklerinde sıkışarak gözenekleri geçirimsiz yapmaktadırlar, buradan ters akım yıkama ile gözeneklerin açılması da son derece zor olmaktadır. Filtre performansının bu tür bir su filtrasyonu ile test edilmesi daha önce yapılmış çalışmalarda elde edilen veriler ile karşılaştırma imkanı sağlamasının yanı sıra, süzülmesi zor sularda filtrenin başarılı bir şekilde kullanılabilmesini de ortaya koymuştur. Çalışmalarında, diyatomit doğal hammaddesinden sentezlenmiş beta-kristobalit seramik tozunu kapiler filtre yüzeyine kaplayarak nano-gözenekli süzme tabakası oluşturması ve böylece kapiler filtrelerin süzme performanslarının artırılması hedefi gerçekleştirilmiş olup, beta-kristobalit kaplamalı filtre, kaplama yapılmayan filtreye göre süzme kapasitesi $0.037 \text{ m}^3/\text{m}^2$ değerinden $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^2$ değerine çıkmıştır. Diyatomit kaplama ile süzme kapasitesinde sağlanan artış oranı kaplama yapılmayan filtreye göre 4 katı civarından daha fazladır. Ayrıca kaplama yapılmayan filtreden sağlanan süzütünün bulanıklık değeri 0.2 NTU iken yeni filtre için bu değeri 0.1 NTU'dur. Burada su süzme kalitesinde sağlanan iyileşme daha sağlıklı su üretme imkanı vermesinin yanı sıra damacana suyunda raf ömrünü artırması yönüyle de ayrıca önem taşıdığı belirtilmiştir.

7.2.2. Katkı Maddesi veya Dolgu Malzemesi Olarak

Diyatomit ürünlerinin ikinci büyük kullanım alanı fonksiyonel dolgu işlemleridir. Bu amaç için diyatomit hafiflik, dayanıklılık, kimyasal etkisizlik, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır [11]. Diyatomit dolgu maddesi olarak kullanıldığı zaman elde edilen ürünün özelliklerini geliştirmekte ve performansını yükseltmektedir. Bu alanda en çok boya, plastik, kağıt, lastik, cila, kibrit, diş macunu ve bazı kimyasal maddelerin üretiminde faydalanılmaktadır. Bu alanda %21 paya sahiptir ve minimum %80 SiO₂ içermesi gerekmektedir [10].

Diyatomit Kağıt Sanayinde de kullanım alanı bulmaktadır. Saflığı, beyazlığı, ince taneli dokusu, yüksek gözenekliliği, sağlamlığı, hafifliği, elastikiyeti, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı, ısıyı az geçirmesi, ışık yansımalarını azaltması gibi özelliklerinden dolayı kağıt imalinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Kaplama uygulamalarında diyatomit TiO₂'yle kullanıldığında parlaklığa katkıda bulunduğu gibi kağıda mat bir görünüm de vermektedir [9].

7.2.3. Katalizör Taşıyıcısı Olarak

Bazı diyatomit çeşitleri %94'e ulaşan yüksek silis içeriklerine sahiptirler. Bu sebeple kimyasal reaksiyonların büyük çoğunluğuna karşı ilgisizdirler. 1430 °C civarındaki yüksek ergime sıcaklığı ise aşırı sıcaklıklara karşı dayanıklılık sağlar. Bu sebeple diyatomit ürünleri hem katalizör taşıyıcısı, hem de izolasyon elemanı olarak kullanılırlar. Katalizör taşıyıcı uygulamasının en önemli örnekleri hidrojenasyon prosesindeki nikel katalizörler ve sülfürik asit üretimindeki vanadyum katalizörlerdir [11].

7.2.4. Kimyasal Madde Hazırlanmasında Silis Kaynağı Olarak

Gaz beton, beton veya geleneksel kağıt malzemelere oranla çok hafif, buna ek olarak, içindeki hava kabarcıkları nedeniyle yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip, bir tür hafif beton olarak yapı sektöründe aranan bir malzemedir. Yapısındaki hava kabarcıkları dolayısıyla bu malzemeye gaz beton adı verilmiştir.

Gaz beton malzemeler bünyesindeki gözenekleri nedeniyle yapı sahibine yüksek ısı yalıtımı, kolay işlenebilirlik, iş gücü verimliliği ve deprem emniyeti sağlar.

Sezer [13], gaz beton üretiminde diyatomitin hammadde olarak (gaz beton üretiminde kullanılan silis kumu yerine silika kaynağı olarak diyatomit kullanmıştır) kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında gaz betonun ana hammaddesi olarak Seydiler (Afyonkarahisar) yöresinden alınan diyatomiti kullanmıştır. Sonuç olarak, bir silika kaynağı olarak diyatomit hammaddesinin gaz beton üretiminde kullanılabilmesi, karışım oranları ve otoklav koşullarının optimize edilmesine yönelik çalışmaların yürütülmesine ihtiyaç olduğu sonucuna varmıştır.

Tatar ve ark. [12]'nin yaptığı bir çalışmada, yüksek silis içerikli çini karolara silis kaynağı olarak kuvars kumu

yerine %8, %18, %23 oranlarında ham diyatomit ilave edilerek, mukavemetin artırılması ve birim hacim ağırlığının azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Kütahya'da üretilen yüksek silis içerikli çini karo bünyelerine %8, %18 ve %23 oranlarında diyatomit ilave edilmiş, kuru olarak preslenmiş ve çini pişirim sıcaklığı olan 900 °C'de pişirilmiştir. Daha sonra karolara pişme mukavemeti, toplam küçülme, su emme-porozite ile birim hacim ağırlığı testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda %18 diyatomit katkılı çini karolarda pişme mukavemeti 2.3 kat artmış ve birim hacim ağırlığı %7.2 oranında azalmıştır.

7.2.5. İzolasyon Malzemesi İmalinde

Hafif çimento, çatı ve cephe kaplama sıvalarında, kalorifer kazanlarında, fırınlarda ve ısı taşıyıcı borularda izolasyon malzemesi olarak diyatomit kullanılmaktadır. Bu alanda kullanımı %1-2 olmasına rağmen daha saf (min. %94 SiO₂) diyatomitler tercih edilir [10].

Uygunoğlu ve Ünal [14]'ün diyatomit kayacının hafif agrega olarak kullanılması ile üretilmiş olan hafif blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yaptıkları deneysel çalışmada, taşıyıcı olmayan, ancak ısı yalıtımı yüksek olan yalıtım amaçlı hafif bloklar üretilebilmiş, ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunun artırılacağı belirlenmiştir.

7.2.6. Hafif Yapı Malzemesi, Refrakter Malzeme İmali ve Seramik Hammaddesi Olarak

Diyatomit, beton blok elemanlarına, hafifliği, izolasyonu, dayanımı, betonda terlemeyi önlemesi ve plastikliği artırması nedenleriyle ilave edilmektedir [14,16,22,26,27,29].

Diyatomit, hafif olması ve pişme mukavemetini artırması nedeniyle tuğla üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılan ekonomik bir hammaddedir. Bentli [31]'nin yaptığı bir çalışmada tuğla sanayinde ürünlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla, tuğla çamuruna %2, %4, %6, %8, %10, %15 ve %20 oranlarında diyatomit ilave edilerek fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda;

- Diyatomitin yüksek porozitesi ve hafifliği sayesinde, üretilen tuğlaların birim hacim ağırlığı azalmıştır. Optimum ilave diyatomit miktarı %8 seçildiğinde tuğlada %9.1 oranında birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Bu durumun binalarda zati yükü azaltarak deprem sırasında daha az can ve mal kaybına neden olacağı,
 - Tuğla çamuruna diyatomit ilavesiyle birlikte kuruma ve pişme küçülmesinin azaldığı,
 - Diyatomit ilavesi tuğlanın su emme oranını yükseltmektedir. %8 diyatomitli tuğla numunesinde %24.2 su emme oranı artışı hesaplanmıştır. Dış cephe tuğlası için tuğlaların yüzeylerinin sırlanması ihtiyacının doğduğu,
 - Diyatomit ilavesinin pişmiş tuğla numunelerinin dayanımını arttırdığı, tuğla çamuruna %8 diyatomit ilavesine kadar zararlı manyezi ve kireç testlerinde herhangi bir bozulma tespit edilmediği belirlenmiştir.
- Basınç dayanımının artırılmasına, su emme oranının azaltılmasına, ısı ve ses yalıtım katsayılarının ölçülmesine yönelik çalışmaların sürdürülmesi gerektiği bildirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak önemli bir parametre olan pişirme sıcaklığının artırılması gerektiği de belirtilmiştir. Ayrıca zenginleştirilmiş ve kalsine diyatomitin tuğla çamuruna ikame olarak kullanımının araştırmaya değer olduğu belirtilmiştir.

Bideci ve Sallı Bideci [29]'nin yaptığı bir çalışmada, diyatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için Ankara İmrahor bölgesindeki tuğla fabrikalarından alınan tuğla kili ve Ankara Şeker Fabrikası diyatomit tesislerinden alınan diyatomit hammaddesi kullanılmıştır. TSE 705 (TS EN 771-1) standardında verilen dolu tuğla sınıfı, (1.8/100) tuğlanın mekanik özellikleri göz önüne alınarak, farklı karışım oranlarındaki deney numuneleri, 800 °C, 900 °C ve 1000 °C'de pişirme sıcaklıklarında pişirilmiştir. Uygun tuğla üretimi için, pişirilen deney numuneleri üzerinde standart testler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda %20 diyatomit katkılı ürünlerin 900 °C'de pişirilmesi ile gerekli mekanik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceği görülmüştür.

Benzer bir çalışmada Bideci ve ark. [30], farklı hammaddelerin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu kapsamda tuğla kili, diyatomit ve genleştirilmiş perlit kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda %20 diyatomit katkılı ürünlerin 900°C'de pişirilmesi ile gerekli mekanik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Diyatomitlerin çimento endüstrisi açısından en önemli özellikleri yüksek porozite, 100-300°C arasında 0.44W/m.K ısı iletkenlikleri ve birçok kimyasal maddeye karşı etkisiz olmasıdır [19]. Stamatakis ve ark. [20] silisli kayaçların, Fragoulis ve ark. [23] kalkerli ve killi diyatomitlerin çimentoda katkı malzemesi olarak değerlendirilebileceğini

göstermiştir.

Litvan ve Sereda [15], tuğla kırığı, diyatomit ve uçucu külün, betonun donma çözülme dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. California orijinli ve toplam porozitesi %77 olan bir diyatomit toprağının çimento pastası ile betonun donma çözülme dayanıklılığını önemli oranda iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Yılmaz ve ark. [25]'nin yaptığı bir çalışmada, Kütahya-Alayunt bölgesi killi diyatomitlerinin katkı çimento üretiminde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento bileşimine %5, %10 ve %20 oranlarında katılan killi diyatomit, klinker ile birlikte öğütülerek çimentolar elde edilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Diyatomit katkı çimentoların tüm katkı oranlarında özgül ağırlıkları, OPC (referans çimentosu)'ye göre düşmüştür. Bu sonuç diyatomitlerin hafif yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.
- OPC'ye göre diyatomit katkı çimentoların tüm katkı oranlarında özgül yüzeyleri artmıştır. Fakat buna paralel olarak dayanımlarda artış söz konusu değildir. Bu sonucun diyatomitin fiziksel yapısından kaynaklandığı saptanmıştır.
- Tüm katkı çimentolarla hazırlanmış harçlarda kıvam suyu miktarlarında artış olmuştur. Bunun temel nedeni olarak diyatomitin fiziksel yapısı ve özgül yüzey değerlerinin neden olduğu tahmin edilmektedir.
- OPC'ye göre, diyatomit katkı harçların priz başlangıcında artış, priz sonunda ise azalma saptanmıştır.
- OPC'li harçlarla karşılaştırıldığında, % 10 ve % 20 katkı oranlarında 2, 7 ve 28 günlük dayanımlar azalmıştır. Bu sonuçlara göre killi diyatomitlerin çimentoda optimum olarak % 5 oranında dayanımlar açısından klinkeri ikame edebileceği saptanmıştır. Bu sonuç literatürdeki diğer diyatomit çalışmaları ile uyum içindedir.

Deneyler sonucunda % 10 ve % 20 killi diyatomit katkısının portland çimentosu klinkerinin dayanım değerlerinin 50 N/mm² civarında olduğu taktirde 42.5 sınıfı çimento üretiminde kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Bu malzemenin kullanımı ile hem 1450 °C'de üretilen klinker kullanımı azaltılarak çevreye daha az emisyon verilecek hem de diyatomitin düşük özgül ağırlığı ile ısı ve ses izolasyonu yapabilmesi nedeni ile özel bir çimento tipi oluşturabilecektir.

Tonak ve ark. [17], diyatomit atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Diyatomit atıkları, farklı oranlarda portland çimentosu klinkerine katılarak çimentolar elde edilmiştir. %10 diyatomit katkısı ile dayanımın yaklaşık %30 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra katkının, öğütme süresini %33 oranında kısalttığı, dolayısıyla aynı oranda enerji tasarrufu ile yaklaşık %50 üretim artışı sağladığını belirtmektedirler.

Tonak ve ark. [18]'nin yaptığı bir başka çalışmada, diyatomit su gereksinimini azaltmak için uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu külün diyatomit ile birlikte çimentoda kullanımı, su ihtiyacını azaltmış ve böylece çimentoda, diyatomit oranının uçucu kül ilavesi ile artırılabilmesi gözlenmiştir.

Gökçe [32], diyatomit esaslı hafif yapı elemanı üretiminde, üre-formaldehit'i bağlayıcı olarak denemiş, diyatomit üre-formaldehit bağlayıcısı ile birlikte hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmak suretiyle yapı sektörüne kazandırılabilmesini belirtmiştir. Ayrıca diyatomitin diğer bağlayıcılar ile de denenmesine yönelik çalışmaların bu alanda olumlu sonuçlar oluşturabileceğini belirtmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu [27]'nin Afyonkarahisar ve çevresinde bulunan diyatomit ile yaptığı bir çalışmada, diyatomit agregalarıyla üretilen hafif betonun mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Betonların çimento miktarı 250 ve 400 kg/m³ arasında değiştirilerek su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve görünen porozite deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda diyatomit ile üretilen hafif agregalı betonların dayanımlarının düşük olması ancak ısı yalıtım değerlerinin yüksek olması nedeniyle hafif agregalar olarak hafif beton üretiminde kullanılması ile taşıyıcı olmayan ancak ısı yalıtımı yüksek olan yalıtım amaçlı hafif betonlar veya bloklar üretilebileceği bildirilmiştir. Bu sayede hem hammadde kaynaklarımızın değerlendirilerek ülke ve birey ekonomisine katkı sağlanması hem de ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunun arttırılacağı düşünülmektedir.

Serin ve ark. [28]'nin yaptığı bir çalışmada normal (doğal agregalar) ve iki farklı hafif agregalar ile üretilen beton bloklar incelenmiştir. Normal beton bloklarla, hafif ve yarı hafif beton blokların özellikleri karşılaştırılmıştır. Normal beton bloklarda Isparta-Atabey agregası, hafif ve yarı hafif beton bloklarda ise Isparta-Atabey agregası ve Isparta yöresinin

pomza, diyatomit agregaları kullanılmıştır. Normal agregalı ile üretilen beton bloklarla, pomza agregası ve diyatomit agregası kullanılarak üretilen yarı hafif ve hafif beton bloklar karşılaştırılmıştır. Atabey agregası ile normal beton, Atabey agregası, diyatomit ve pomza agregası ile yarı hafif ve hafif beton bloklar 6 seri halinde üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda Atabey agregası ile üretilen beton blokların dayanımlarının pomzalı ve diyatomitli beton bloklara göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlardan pomzalı ve diyatomitli hafif ve yarı hafif beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağı fakat ara bölme duvar elemanı ve yalıtım blokları olarak kullanılabilir özellikte olduğu bildirilmiştir.

Bir yapıda deprem sırası ve sonrasında, içindeki canlılara zarar veren elemanların başında düşeyde yer alan ve taşıyıcı özelliği olmayan elemanlardan duvarlar gelmektedir. Son yıllarda yapının zati yükünü azaltmak ve aynı zamanda can güvenliğini arttırmak için değişik yöntemlerle üretilen hafif blok elemanların yapılarda kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Uygunoğlu ve Ünal [24] deprem yükü etkisi altında bulunan yapıların riskini azaltmak için yapıda bölme elemanı olarak Afyon ve çevresinde bulunan diyatomit hafif agregası ile üretilen hafif blok elemanların mekanik özellikleri araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda diyatomitli üretilen hafif blok elemanların, yapılarda bölme elemanı olarak kullanılması durumunda yapının zati yükü, 1.6 kg/m³ birim hacim ağırlığa sahip olan tuğlanın kullanıldığı bir yapıya göre duvar ağırlığı olarak %25-50 oranında hafifleyeceğini, bu hafiflikten dolayı deprem anında direk olarak can kaybının azalacağını belirtmişlerdir.

Benzer bir çalışmada Ünal ve ark. [21] pomza ve Afyon Tmaztepe yöresi diyatomit malzemelerinin hafif beton blok elemanı üretiminde kullanılmasının betonun özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak pomza ve diyatomitin hafif beton blok elemanı üretiminde değerlendirilerek tuğla gibi bölme elemanları yerine kullanılabilmesi belirtilmiştir. Bu sayede ekonomiye yarar sağlandığı gibi, binalarda yalıtım olayı da çözülmüş olacağı belirtilmiştir.

7.2.7. Diğer Kullanım Alanlarında

Çevre kirliliği ve bunun giderilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır. Bu amaca yönelik olarak birçok araştırmacı diyatomiti adsorbant olarak kullanmayı denemiştir. Özellikle ağır metal giderimi [36,37,41,42,44] ve boyar madde giderimi [38,40,43,45] amacıyla kullanılmaktadır.

Mermer sektöründe aşındırma-parlatma işlemi, çeşitli boyutlarda aşındırıcı ihtiva eden kalıpların kullanıldığı silme-cilalama makineleriyle yapılır. Bu alanda diyatomitten abrasiv olarak faydalanılır [46]. Aşındırıcı sanayide kullanılan doğal abrasivleri genel olarak; elmas, korund, zımpara, stavrolit, garnet gibi sertlik derecesi 7'den fazla olan çok sert abrasivler; kalsedon, çört, kuvars, kuvarsit, kumtaşı, perlit, pomza, feldspat, bazalt, granit gibi sertlik derecesi 5.5-7 arasında olan orta-sert abrasivler ve kalsit, apatit, tebeşir, kil, diyatomit, dolomit, talk gibi sertlik derecesi 5.5'den küçük olan düşük sertlikteki abrasivler olarak üç ayrı gruba ayırmak mümkündür [82]. Bu alanda diyatomit 3. gruba dahil düşük sertlikli abrasiv grubundadır.

Broiler yetiştiriciliğinde en uygun altlık materyali olarak kabul edilen talaşın, son yıllarda altlık dışı amaçlarla kullanılmaya başlanması nedeniyle fiyatının yükselmesi, işletmelerin üretim maliyetini arttırmıştır [35]. Bu durum, araştırmacıları, broiler yetiştiriciliğinde hem piliç performansını olumsuz olarak etkilemeyecek hem de daha düşük masraflı olan alternatif altlık malzemelerini araştırmaya yöneltmiştir. Çeşitli araştırmalarda talaş altlığın yerine kullanılabilen farklı altlık materyallerinin, etlik piliç performansı ile karkas özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Poyraz ve ark. [33] çalışmalarında, altlık olarak diyatomit kullanılabilen olanaklarını incelemişler, kavuz ve diyatomitin talaşa alternatif olabileceğini bildirmişlerdir. Bunun aksi bir görüş olarak, Koçak ve ark. [34] ise yine altlık olarak diyatomitin kullanılmasında broiler performansının olumsuz etkilenmesi nedeniyle diyatomitin altlık olarak kullanılmasının uygun olmadığını bildirmişlerdir. Bu alandaki kullanım olanaklarının araştırılması gerekmektedir.

Hindi eti gibi besin değeri yüksek gıdaların paketleme ve ambalajlanmasında çeşitli yöntemlerin kullanımı, ürünün raf ömrünü artırmak ve sonradan meydana gelebilecek kontaminasyonları önlemek bakımından büyük önem taşımaktadır [39]. Özellikle, çiğ kırmızı et ve kanatlı etlerinin paketlenmesinde, yapısında nem tutucu bileşikleri içeren filtrelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Buradaki amaç, ambalaj içindeki etten sızan sıvının filtre tarafından tutulması ve ürün ile temasının kesilmesi sonucunda, ürünün raf ömrünün uzatılması ve dolayısıyla gıda güvenliğinin sağlanmasıdır. Son yıllarda nem tutucu bileşik olarak diyatomit içeren filtreler, gıda sektöründe kullanım alanı bulmaktadır.

Çolak ve ark. [47] paketlemede ambalaj materyali olarak kullanılan diyatomit içeren nem tutucu filtrelerin, hindi etinin mikrobiyolojik kalitesi ve raf ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda diyatomit içeren filtrelerin kullanımı hindi etlerinde, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında raf ömrünü 4 gün uzatmıştır. Bu nedenle, paketlemede diyatomit içeren filtrelerin kullanımının, gerek raf ömrünün uzaması ile ekonomik kayıpların önlenmesinde, gerekse gıda güvenliğinin sağlanmasında yararlı olabileceği kanaatine varılmıştır.

7.3. Diyatomitin Tüketim Miktar ve Değerleri

Dünya piyasalarında diyatomitin tüketim ve talep hareketleri genellikle düzenli ve kararlı kalmaktadır. Dünyada en büyük tüketim ABD’de olmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise onu Almanya, Hollanda ve İngiltere izlemektedir. Kanada ve Avustralya da önemli tüketim miktarları olan ülkeler arasındadır. Orta Doğu ve Arap ülkelerinde son yıllarda artan taleplerden tüketimin artmakta olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Suriye, Mısır, Ürdün ve İran’da talebin artmakta olduğu gözlenmektedir.

Diyatomit ürünlerinin en büyük kullanımı yardımcı madde olarak filtrasyon sahasındadır. İşlenmiş diyatomitin %50’den fazlası filtrasyon endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunu dolgu ve izolasyon uygulamaları izlemektedir. Tüketimin endüstrilere göre dağılımı yaklaşık olarak; filtrasyon %66, dolgu %21, izolasyon %1, diğerleri (aşındırıcılar, adsorbentler, katkı ve katalizörler) %12 şeklindedir.

Özellikle gelişmiş ülkelerde diyatomit ürünleri, sanayideki yerini almış durumdadır. Şimdiki haliyle en önemli uygulamanın filtrasyon sahasında olduğu görülmektedir. Avrupa’nın en önemli tüketicilerinden Almanya diyatomit tüketiminin hemen hemen %50’sini bira filtrasyonunda kullanmakta, geri kalanını ise dolgu maddesi, aşındırıcı ve katalizör taşıyıcı olarak tüketmektedir.

İkame ürün olarak düşünülebilecek olan perlit, selüloz ve asbest plakaların, gelecekte özellikle filtrasyon alanında diyatomiti önemli derecede etkilemesi beklenmemektedir. Çünkü bunların sağlığa zararlı etkileri olabileceği düşünülerek, özellikle gıda sanayinde kullanılmalarından kaçınılmaktadır. Ayrıca hiçbirisinde, diyatomitin meydana getirdiği mükemmel kek dokusunu oluşturulabilecek tanecik yapısı bulunmadığından filtrasyon alanında, özellikle berraklık derecesi açısından arzu edilen performansı göstermemektedirler. Sadece perlitin inşaat sektöründe önemli uygulamaları bulunmaktadır. Bununla beraber diyatomitin bu alanda kullanımı çok önemli olmadığı için onun da yakın gelecekte diyatomit tüketimini etkilemesi umulmamaktadır [11].

8. Sonuç

Dünya diyatomit pazarı yılda yaklaşık %6’lık bir artış göstermektedir. Toplam diyatomit tüketiminin %60’ını filtre yardımcısı, %20’sini boya ve bazı kimyasal maddelere gözenek kazandırıcı olarak katkı maddesi, %5-10’unu ise ısı izolasyonunda yalıtıcı ve refrakter malzemesi olarak, geri kalanını ise çok çeşitli amaçlarla kullanımı teşkil etmektedir.

Özellikle Avrupa’da kaliteli ve işletilmeye elverişli diyatomit kaynakları giderek azalmaktadır. Yurdumuzda oldukça bol ve iyi kalitede ham diyatomit rezervleri mevcut olmasına rağmen (baz rezerv 44 224 029 ton), endüstriye girmesinde arzu edilen gelişme sağlanamamıştır. Türkiye 2006 yılında 45.20 ton diyatomit üretimi gerçekleştirerek dünya üretiminde %2.2’lik bir paya sahip olmuştur. Oysa ki, doğal kaynak üstünlüğümüz ve yurtiçi yurtdışı pazarların durumu daha fazla üretime imkan vermektedir. Diyatomit tüketicisi durumunda olan endüstrilerde faaliyet gösteren firmaların büyük bir bölümünün dışa bağımlı teknoloji ile veya patentli üretim yapımları nedeniyle bu sanayiye yeteri kadar girilemediği sanılmaktadır.

Diyatomit, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleriyle filtre yardımcısı malzemesi, dolgu malzemesi, izolasyon malzemesi, adsorbent, aşındırıcı ve yüzey temizleyici, katalizör taşıyıcı, hafif yapı ve refrakter malzemesi, gübrelerde ve silika kaynağı olarak pek çok sanayide kullanılmaktadır. Yüksek geçirgenliği ve gözenekliliği sayesinde aktive edilmiş karbona ucuz bir alternatiftir. En fazla süzme yardımcısı maddesi olarak diyatomit kullanılmaktadır. Diyatomit hem süzülen sıvının yapısını bozmaz hem de ekonomik yönden uygundur. Diyatomitlerin saf silisyum dioksit iskeletlerinden oluşan diyatomit, mikroskopta görülebilen küçük tanecikler halindedir ve kolloidlerin adsorblanması için çok geniş yüzeylere sahiptir. Bireysel olarak yürütülen tanıtım faaliyetlerinin yetersizliğine rağmen, meyve suyu üreticilerinin büyük bir kısmı ile Tekel Bira Fabrikaları yerli üretim diyatomiti filtrelerinde başarıyla kullanmaktadırlar. Ancak özel bira fabrikalarının, halen bu ihtiyaçlarını ithalat ile karşıladıkları sanılmakta, bu nedenle iç tüketim beklenildiği şekilde artmamaktadır. Süzme yardımcısı

maddesi olarak diyatomit daha ucuz olması nedeniyle perlit kullanılmaktadır. Ancak diyatomitin verdiği berraklığı sağlayamamaktadır. Diyatomit aynı zamanda perlite kıyasla daha fazla asitli veya bazik ortamlarda kullanılabilir. Berraklık ve süzme kalitesi sağlaması nedeniyle, ülkemizde özellikle gıda sanayinde (meşrubat, bira, sıvı yağlar, şarap, sirke vb.) diyatomit kullanılmaktadır. Ayrıca, yüzme havuzu suları, kuru temizleme solventleri, eczacılık mamülleri, endüstriyel atıklar, kimyasal maddeler, vernik ve lakeler, madeni ve nebati yağların filtrasyon işlemlerinde de kullanıldığı için diyatomit kullanımının desteklenmesi yararlı olacaktır.

Diyatomit dolgu işlemlerinde de kullanılır (boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve kimya sanayi). Dolgu malzemesi ürünün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaçla diyatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inertlik, izolasyon kabiliyeti (ısı, ses, elektrik), yüksek gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Ancak yurdumuzda dolgu malzemesi olarak kullanımı da beklenen seviyeye ulaşamamıştır. Bu alanda diyatomit kullanımının teşvik edilerek artırılması gerekir.

Türkiye hızla gelişmekte ve kentleşmektedir. Türkiye'nin deprem kuşağı üzerinde bulunduğu ve enerji gereksiniminin de her geçen gün arttığı dikkate alınrsa, yapılan binaların uzun ömürlü, ekonomik ve güvenilir olması gerekmektedir. Diyatomitin izolasyon kabiliyetinin çok yüksek, düşük özgül ağırlığa ve yüksek gözenekliliğe sahip olması nedeniyle binalarda hafif blok elemanları olarak kullanılmaktadır. Blok elemanlarının hafif, yalıtımlı ve dayanıklı olması arzu edilmektedir. Yalıtım sağlaması ısıtmada kullanılan enerjiden büyük oranda tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda yapıya gelen zati yükleri de azaltmaktadır. Diyatomit ile üretilen tuğlaların bölme elemanı olarak kullanılmasıyla deprem sırasında daha az can ve mal kaybı olacaktır. Diyatomit, hafif olması ve pişme mukavemetini arttırması nedeniyle tuğla üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılan ekonomik bir hammaddedir. Ayrıca, yapı malzemelerinin gözenekli yapıya sahip olmaları iç ve dış ortam arasında nefes alma olayının daha rahat gerçekleşmesini sağlayarak ortamın rutubetten korunmasını sağlayacaktır. Sahip olduğu bu özellikleriyle diyatomit yapı malzemesi olarak daha fazla kullanılabilir. Bu nedenle, yurdumuzda inşaat sektöründe diyatomit kullanımının artırılması ve teşvik edilmesi gerekir. Bu durumda hem hammadde kaynaklarımızın değerlendirilerek ülke ve birey ekonomisine katkı sağlanması hem de ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunu ve deprem güvenirliliğini arttıracığı düşünülmektedir.

Diyatomitin steril, sağlığa zararsız olması, çevre kirliliği ve çevre sağlığı açısından önemli sorunlar ortaya çıkarmaması, fabrikasyon safhasında oluşan atıkların su buharı, ince diyatomit tozu ve fuel-oil yanma gazları olması, atmosfere atılan hava ile karışık durumda olan ince tozlar ve yanma gazlarının ıslak-toz tutucu cihazdan geçirilerek tutulması ve durultma havuzunda çökeltilerek çevreye zararsız hale getirilmesi, diyatomit tozunun yapışıcı ve kalıcı olmaması, rüzgar ve yağmurun etkisiyle kolayca temizlenebilmesi ve toprağa karışarak doğal haline dönmesi gibi özellikleriyle gerek teknoloji, gerek kullanım açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

Madenler ülkelerin önemli doğal kaynaklarıdır. Ekonomiye katkısı da fazladır. Ülkemiz maden kaynakları ve çeşitliliği bakımından kendi kendine kısmen yeterli olan ülkeler arasında yer alır. Fakat madencilik sektörü, ülkemizin kalkınmasına yapabileceği büyük katkıyı kendisinden beklenen düzeyde sağlayamaz durumdadır. Ülkemizde iyi kalitede diyatomit rezervi de çoktur. Ancak, Türkiye Şeker Fabrika'larının Ankara Diyatomit Fabrika'sı kapatılmıştır ve Türkiye önemli miktarlarda süzücü diyatomit ithal etmektedir. Özellikle filtrasyon işlemlerinde kalsine diyatomite gereksinim olduğu için, böyle bir tesis teşvik edilmelidir. Doğal öz kaynaklarımızın işletilip sanayiye sunulması ülkemiz ekonomisine çok olumlu katkılar sağlayacaktır. Özellikle ürün çeşitliliğinin ve ürün kalitesinin geliştirilmesine yönelik entegre madencilik yatırımlarının ve faaliyetlerinin de daha fazla teşvik edilmesi gerekmektedir.

Diyatomit yataklarımızın verimli bir şekilde değerlendirilmesi ve ekonomiye kazandırılması ülkemiz açısından önemlidir. Bu nedenle birçok alanda kullanılan diyatomit ile ilgili araştırmalar son yıllarda güncelliğini korumaktadır. Gelişen biyoteknoloji alanlarında kullanılabilirliği ve doğayı kirletici özelliğinin olmaması dikkate alındığında, Türkiye'deki mevcut ve muhtemel diyatomit rezervlerinin yeniden araştırılması, nicelik ve nitelik bakımından detaylı olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi yapılarak rezerv potansiyelimizin güvenilir rakamlarla ortaya konulması, işletilmesi, kalitenin daha da yükseltilerek ihraç edilmesi ülkemiz ekonomisi için çok önemli görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Özbey, G., Atamer, N., “Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler”, *10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi*, Ankara, 493-502, (1987).
- [2] Temur, S., Endüstriyel Hammaddeler, *Çizgi Kitabevi*, Konya, (2001).
- [3] Karaman, M.E., Kibici, Y., Temel Jeoloji Prensipleri, *Devran Matbaacılık*, Ankara, (1999).
- [4] Çeşmeci, R., Mısırlı, Z., Göktaş, A.A., “Evaluation of Diatomite as Filters Prepared by Extrusion”, *3.Seramik Kongresi*, İstanbul, 457-462, (1996).
- [5] Bozkurt, R., “Diyatomit”, *Türkiye’de Endüstriyel Mineraller Envanteri*, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Ed: Önal, Yüce, Özpeker ve Güney, İstanbul, 42-47, İstanbul, 42-47, (1999).
- [6] Yılmaz, H., “Filtrasyon Diyatomit İçin En Büyük Pazar Olmaya Devam Ediyor”, *Madencilik Bülteni*, s38, (2005).
- [7] Ediz, N., Bentli, İ., Tatar, İ., “Improvement in Filtration Characteristics of Diatomite by Calcination”, *International Journal of Mineral Processing*, 94, 129-134, (2010).
- [8] Şan, O., Özgür, C., Koç, M., Ergüler, T., İmaretli, A., “Kaynak Suyunun Diyatomit Kaplamalı Membran Filtreler ile Süzülebilirliğinin Araştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24, 107-116, (2011).
- [9] Erkan, Z.E., Malayoğlu, U., “Kağıt-Karton Sanayiinde Kullanılan Endüstriyel Hammaddeler ve Özellikleri”, *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 18-19 Ekim, Türkiye, (2001).
- [10] Bentli, İ., “Kütahya-Alayunt Diyatomit Cevherindeki Safsızlıkların Hidrosiklon ve Kalsinasyonla Giderilmesi”, *Madencilik*, 49, 3, 13-21, (2010 b).
- [11] DPT, Asbest, Bentonit, Fluorit, Diatomit (Kizelgur), Kalsit, Kıymetli ve Yarı-Kıymetli Taşlar (Süs Taşları), Lityum, Titanyum, Zirkonyum ve Hafniyum, 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt-2, DPT:2421 - ÖİK: 480, Ankara, (1996).
- [12] Tatar, I., Ediz, N., Bentli, İ., “Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi”, *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 13-14 Mayıs, (2004).
- [13] Sezer, H., “Öğütülmüş Diyatomitin Gazbeton Üretiminde Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2010).
- [14] Uygunoğlu, T., Ünal, O., “Diyatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması”, *Politeknik Dergisi*, 9, 1, 65-70, (2006).
- [15] Litvan, G.G., Sereda, P.J., “Particulate admixture for enhanced freezethaw resistance of concrete”, *Cement and Concrete Research*, 8, 53-60, (1978).
- [16] Karadağ, N., “Diyatomit Katkısı ile Tuğla Eldesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1989).
- [17] Tonak, T., Atay, Y., Ertürk, F., “Diyatomit Atıklarının Çimento Endüstrisinde Kullanılabilirliği ve Sağladığı Tasarruflar”, *TÇMB Çimento Bülteni*, 28, 1-10, (1991a).
- [18] Tonak, T., Sipahi, F., Atay, Y., “Diyatomitin Uçucu Külle Birlikte Çimento Üretiminde Kullanımı ve Sağladığı Tasarruflar”, *TÇMB Çimento Bülteni*, 29, 1-19, (1991b).
- [19] Aruntaş, H.Y., “Diatomit, Özellikleri, Kullanım Alanları ve İnşaat Sektöründeki Yeri”, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, 1(4), 27-32, (1996 a).
- [20] Stamatakis, M.G., Fragoulis, D., Csirik, G., Bedeleian, I., Pedersen, S., “The Influence of Biogenic Micro-silica-rich Rocks on the Properties of Blended Cements”, *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 177-184, (2003).
- [21] Ünal, O., Demir, İ., Uygunoğlu, T., “Pomza ve Diyatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması”, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 3-4 Aralık, (2003).
- [22] Fragoulis, D., Stamatakis, M.G., Chaniotakis, E., Columbus, G., “Characterization of Lightweight Aggregates Produced with Clayey Diatomite Rocks Originating from Greece”, *Materials Characterization*, 53(2-4), 307-316, (2004).
- [23] Fragoulis, D., Stamatakis, M.G., Papageorgiou, D., Chaniotakis, E., “The Physical and Mechanical Properties of Composite Cements Manufactured with Calcareous and Clayey Greek Diatomite Mixtures”, *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 205-209, (2005).
- [24] Uygunoğlu, T., Ünal, O., “Yapıların Zati Yükünün Azaltılması İçin Diyatomit ile Üretilen Hafif Blok Elemanların Özelliklerinin Araştırılması”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart, (2005).
- [25] Yılmaz, B., Ediz, N., Bentli, İ., Kütahya-Alayunt Bölgesi Killi Diyatomitlerin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12, 95-104, (2006).
- [26] Karaman, S., “Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif İnşaat Malzemeleri”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1/2), 63-69, (2007).
- [27] Ünal, O., Uygunoğlu, T., “Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması”, *IMO Teknik Dergi*, 266, 4025-4034, (2007).

- [28] Serin, G., Çankıran, O., Başığit, C., Taş, H.H., Fenkli, M., “Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1), 15-22, (2007).
- [29] Bideci, A., Sallı Bideci, Ö., “Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (Trakya Univ J Sci)*, 8(2), 69-76, (2008).
- [30] Bideci, A., Sallı Bideci, Ö., Sever, Ü., “Farklı Hammaddelerin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs, (2009).
- [31] Bentli, İ., “Diyatomit katkıli hafif yapı tuğlası üretimi”, *Kibited*, 1(4), 13-19, (2010 a).
- [32] Gökçe, M.V., “Diyatomit Esaslı Hafif Yapı Elemanı Üretiminde Üre-Formaldehitin Bağlayıcı Olarak Kullanılması”, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2010).
- [33] Poyraz, Ö., Özçelik, M., Çep, S., Bahadıroğlu, M.E., “Broyler üretiminde altlık olarak diyatomit kullanma olanakları”, *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 37 (2), 47-57, (1991).
- [34] Koçak, D., Özcan, İ., Çetin, İ., “Broiler yetiştiriciliğinde diyatomit maddesinin altlık olarak kullanılması”, *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 31 (1-2), 71-86, (1991).
- [35] Sarıca, M., Saylam, K.S., Öner, F., Karaçay, N., “Althğa zeolit ilavesinin etlik piliçlerde büyüme ve altlık özelliklerine etkileri”, *Hayvancılık '96 Ulusal Kongresi*, Ege Üniversitesi, İzmir, 1, 346-352, (1996).
- [36] Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Tutunji, M.F., “Sorption of Lead Ions on Diatomite and Manganese Oxides Modified Diatomite”, *Water Research*, 35(15), 3724 -3728, (2001).
- [37] Dantas, T.N.C., Neto, A.A.D., Moura, M.C.P.A., “Removal of Chromium from Solutions by Diatomite Treated with Microemulsion”, *Water Research*, 35(9), 2219-2224, (2001).
- [38] Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J. Ahmad, M.N., “The Removal of Dyes from Textile Wastewater: A study of the Physical Characteristics and Adsorption Mechanisms of Diatomaceous Earth”, *Journal of Environmental Management*, 69, 229-238, (2003).
- [39] Uğur, M., Nazlı, B., Bostan, K., Gıda Hijyeni, *Teknik Yayınevi*, İstanbul, (2003).
- [40] Shawabkeh, R.A., Tutunji, M.F., “Experimental Study and Modeling of Basic Dye Sorption by Diatomaceous Clay”, *Applied Clay Science*, 24, 111-120, (2003).
- [41] Khraisheh, M.A.M., Al-Degs, Y.S., Mcminn, W.A.M., “Remediation of Wastewater Containing Heavy Metals Using Raw and Modified Diatomite”, *Chemical Engineering Journal*, 99, 177-184, (2004).
- [42] Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Tutuji, M., “Flow Injection potentiometric stripping analysis for study of adsorption of heavy metal ions onto modified diatomite”, *Chemical Engineering Journal*, 104, 83-91, (2004).
- [43] Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Ahmad, M.N., Allen, S.J., “Thermodynamic Behaviour and the Effect of Temperature on the Removal of Dyes from Aqueous Solution Using Modified Diatomite: A Kinetic Study”, *Journal of Colloid Interface Science*, 287, 6-13, (2005).
- [44] Kul, A.R., Alacabey, İ., Koyuncu, H., “Çözelti Ortamında Bulunan Çinko İyonlarının Doğal ve Aktive edilmiş Çaldıran Diyatomiti (Van-Çaldıran) Üzerindeki Adsorpsiyon Denge Çalışmaları”, *21. Ulusal Kimya Kongresi*, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2007).
- [45] Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Ahmad, M.N. ve Allen, S.J., “Microcolumn Studies of Dye Adsorption onto Manganese Oxides Modified Diatomite”, *Journal of Hazardous Materials*, 146, 316-327, (2007).
- [46] Aksay, E.K., Akar, A., Cöcen, İ., Onargan, T., “İzmir-Menderes Pomza Cevherinin Bazı Tür Mermerlerin Aşındırılmasında Abrasiv Olarak Kullanımı”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(31), 32-43, (2009).
- [47] Çolak, H., Uğurluay, G., Nazlı, B., Bingöl, E.B., “Paketlemede Kullanılan Nem Tutucu Filtrelerin Hindi Etinin Raf Ömrü Üzerine Etkisi”, *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi (İstanbul Üniv Vet Fak Derg)*, 37(2), 107-116, (2011).
- [48] Round, F.E. The Biology of the Algae, *Edward Arnold*, London, (1973).
- [49] Satoh, A., Vudikaria, L. Q., Kurano, N., Miyachi, S., “Evaluation of the sensitivity of marine microalgal strains to the heavy metals, Cu, As, Sb, Pb and Cd”, *Environment International*, 31:5, 713-722, (2005).
- [50] Vijayaraghavan, K., Jegan, J., Palanivelu, K., Velan, M., “Biosorption of cobalt(II) and nickel(II) by seaweeds: batch and column studies”, *Separation and Purification Technology*, 44, 1, 53-59, (2005).
- [51] Herrero, M., Cifuentes, A., Ibáñez, E., “Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food-by-products, algae and microalgae: a review”, *Food Chemistry*, 98: 136-148, (2006).
- [52] Perales-Vela, H.V., Pena-Castro, J.N., Canizares-Villanueva, R.O., “Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae”, *Chemosphere*, 64, 1-10, (2006).
- [53] Round, F.E., A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Water Quality, Methods for the examination of water and associated materials, *HMSO Publications*, London, (1993)
- [54] Cox, E.J., Identification of Freshwater Diatoms from Live Material, *Chapman & Hall*, London, (1996).

- [55] Whitton, B.A., Rott, E., Friedrich, G., Use of Algae for Monitoring Rivers, *Proc. Internat. Symp.*, Dusseldorf, (1991).
- [56] Whitton, B.A., Kelly, M.G., “Use of algae and other plants for monitoring rivers”, *Australian Journal of Ecology (Aust J Ecol)*, 20:45-56, (1995).
- [57] Whitton, B.A., Rott, E., Use of Algae for Monitoring Rivers II, *Proceeding of an International Symposium*, Innsburck, Australia, 17-19 September 1995, Institut Für Botanik, Universität Innsburck, Austria, (1996).
- [58] Stevenson, R.J., Pan, Y., “Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms”, In: *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences* (Eds. Stoermer, E.F., Smol, J.P.), *Cambridge University Press*, Cambridge, pp. 11-40, (1999).
- [59] Ács, É., Szabó, K., Kiss, K.T., Hindák, F., “Benthic algal investigations in the Danube River and some of its main tributaries from Germany to Hungary”, *Biologia*, 58: 545-554, (2003).
- [60] Ács, É., Szabó, K., Tóth, B., Kiss, K.T., “Investigation of benthic algal communities, especially diatoms of some Hungarian streams in connection with reference conditions of the water framework directives”, *Acta Botanica Hungarica*, 46 (3-4): 255-277, (2004).
- [61] Ács, É., Szabó, K., Kiss, Á.K., Tóth, B., Zárny, G.Y., Kiss, K.T., “Investigation of epilithic algae on the River Danube from Germany to Hungary and the effect of a very dry year on the algae of the River Danube”, *Arch. Hydrobiol. Suppl. Large Rivers*, 16: 389-417, (2006).
- [62] Blanco, S., Ector, L., Bécares, E., “Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish Shallow Lakes”, *Vie Milieu*, 54(2-3): 71-79, (2004).
- [63] Gomá, J., Ortiz, R., Cambra, J., Ector, L., “Water quality evaluation in Catalanian Mediterranean Rivers using epilithic diatoms as bioindicators”, *Vie Milieu*, 54(2-3): 81-90, (2004).
- [64] Szabó, K., Kiss, K.T., Ector, L., Kecskés, M., Ács, É., “Benthic diatom flora in a small Hungarian tributary of River Danube (Rákos-stream)”, *Archiv für Hydrobiologie Suppl., 150 Algological Studies*, 111: 79-94, (2004).
- [65] Ector, L., Rimet, F., “Using bioindicators to assess rivers in Europe: An overview”, *Modelling community structure in freshwater ecosystems*, Eds.: S. Lek, M. Scardi, P.F.M. Verdonschot, J.P. Descy, Y.S. Park, *Springer Verlag*, Berlin, Allemagne, pp. 7-19, (2005).
- [66] Gosselain, V., Coste, M., Campeau, S., Ector, L., Fauville, C., Delmas, F., Knoflach, M., Licursi, M., Rimet, F., Tison, J., Tudesque, L., Descy, J.P., “A large-scale stream benthic diatom database”, *Hydrobiologia*, 542: 151-163, (2005).
- [67] Solak, C.N., Ács, É., “Water Quality Monitoring in European and Turkish Rivers Using Diatoms”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11: 329-337, (2011)
- [68] Şen, B., Plankton ve Kültür”, *Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Yüksekokulu*, Yayın no: 2, Elazığ, (1987).
- [69] Lee, R.E., Phycology, *Cambridge University Press*, New York, (2008).
- [70] Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., *Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*, *Cambridge University Press*, Cambridge, (1990).
- [71] Norton, T.A., Melkonian, M., Andersen, R.A., “Algal biodiversity”, *Phycologia*, 35: 308-326, (1996).
- [72] Graham, L.E., Wilcox, L.W., *Algae*, *Prentice Hall*, Upper Saddle River, N.J., (2000).
- [73] Uygun, A., “Diyatomit, Jeolojisi ve yararlanma olanakları”, *Madencilik*, 15, 31-38, (1976).
- [74] Livingstone, D.A., “Chemical composition of rivers and lakes”, *Data of Geochemistry*, Fleischer, M. (Ed), Geological Survey, *U.S. Government Printing Office*, Washington, D.C., 64 pp., (1963).
- [75] Işık, İ., “Diyatomit”, *Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c.I, 141-158, (1984).
- [76] Yıldız, A., “Seydiler (Afyon) diyatomit cevherinin jeolojisi ve izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *AKU Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1997).
- [77] Cummins, A.B., *Diatomite, Industrial Minerals and Rocks (Nonmetallics other than fuels)*, Third Edition, *The Am. Inst. of Mining and Metallurgical Engineers*, New York, (1960).
- [78] Breese, R.O.Y., *Diatomite*, in *Industrial Minerals and Rocks*, Carr, D.D., and others (Eds), Littleton, CO, Society for Mining, *Metallurgy, and Exploration, Inc.*, p. 397-412, Colorado, USA, (1994).
- [79] Önem, Y., *Sanayi Hammaddeleri*, *Kozan Ofset*, Ankara, (2000).
- [80] Borat, M., “ürkiye Diyatomitlerinin Özellikleri ve Filtrasyon Karakteristikleri”, Doktora tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1992).
- [81] Çoban, O., “Balıkdama (Sivrihisar-Eskişehir) Epilitik ve Epifitik Alglerinin Flora Yönünden Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).
- [82] DPT, Genel Endüstri Mineralleri IV, Bentonit, Barit, Diyatomit ve Aşındırıcılar, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu”, s.59-64, DPT: 2621-ÖİK 632, Ankara, (2001).
- [83] Mete, Z., “Kütahya-Alayunt Yöresi Diyatomit Yataklarının Zenginleştirilmesi”, *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 184-201, (1988).

- [84] Nuhoglu, İ., Elmas, N., “Alayunt Diatomit Yataklarının Oluşumu ve Ekonomik Olarak İncelenmesi”, *1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, 82-95, (1999).
- [85] Taliaferro, N.L., “Relation of volcanism to Diatomaceous and associated siliceous sediments”, *Bull. Univ. California, Geol. Sci.*, 23, 1, 1-56, (1933).
- [86] Köktürk, U., Endüstriyel Hammaddeler, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, No:205, İzmir, (1997).
- [87] Temur, S., Endüstriyel Hammaddeler, *Çizgi Kitabevi*, Konya, (2007).
- [88] Mete, Z., “Kütahya Alayunt yöresi diatomit yataklarının izole tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Seramik Teknik Kongresi*, Ankara, 253-263, (1985).
- [89] Uygunoğlu, T., “Afyon ve Çevresindeki Hafif Agregalarla Üretilen Blok Elemanların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).
- [90] Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., “Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 263-275, 13 Nisan (2007).
- [91] Antonides, L.E., Diatomite, *U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries*, 60-61, (1999).
- [92] Uygun, A., “Hırka (Kayseri) Diatomit Yatağının Jeokimyası ve Oluşumu”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 127-132, (1976 b).
- [93] Gabriel, M., Malecha, A., Kartal, G., Özer, H., “Diatomite deposits near Belisırma and Ihlara Turkey”, *Geocom-1 First Geological Congress of the Middle East*, 621-636, (1979).
- [94] Gabriel, M., Malecha, A., “Survey of Czechoslovakia”, VV, G, Praha, Turkey, Vol 1, 621-637, (1972).
- [95] Sivacı, R., Dere, Ş., “Melendiz Çayı'nın (Aksaray-Ihlara) Epipelik Diatomite Florasının Mevsimsel Değişimi”, *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 27 (1), 1-12, (2006).
- [96] Türkiye Diatomit Envanteri, *M.T.A. Enstitüsü*, No. 138, Ankara, (1968).
- [97] Aruntaş, H.Y., Albayrak, M., Saka, H.A., Tokyay, M., “Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22(4), 337-343, (1998).
- [98] Bentli, İ., “Kütahya-Alayunt diatomit cevherinin zenginleştirilmesinin araştırılması”, *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 121-126, (2002).
- [99] Bentli, İ., Ediz, N., Tatar, İ., “Beneficiation of Kutahya-Alayunt diatomite by calcination”, *10th International Mineral Processing Symposium*, İzmir, 183-189, (2004).
- [100] Ediz, N., Tatar, İ., Bentli, İ., “The use of raw and calcined diatomite in art-tile bodies”, *Turkey 19th International Mining Congress*, 259-262, (2005).
- [101] Hiçyılmaz, C., Beneficiation of Industrial Minerals, *METU*, 43-46, (2000).
- [102] Al-Wakeel, M.I., “Characterization and Process Development of the Nile Diatomaceous Sediment”, *International Journal of Mineral Processing*, 92, 128-136, (2009).
- [103] Bentli, İ., “Kütahya-Alayunt Diatomit Cevherinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması”, *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim (2001).
- [104] DESİYAB, Diatomit Sektör Araştırması, Devlet Sanayi ve İşçi Yatırım Bankası, Ankara, APG: SA/8, (1979).
- [105] Elfert, R.J., “Bureau of Reclamation Experiences With Fly Ash and Other Pozzolans in Concrete”, *3th International Ash Utilization Symposium*, Information Circular No. 1c8640, US Bureau of Mines, Washington, 80, (1973).
- [106] Kouteren, S.V., Filters and Absorbents, Ed. Carr, D.D., *SMME*, Colorado, USA, 497-507, (1994).
- [107] Martinovic, S., Vlahovic, M., Boljanak, T., Pavlovic, L., “Preparation of Filter Aids Based on Diatomites”, *International Journal of Mineral Processing*, 80, 255-260, (2006).
- [108] Advanced Minerals, Diatomite Filter Aid in CGMP Pharmaceutical Processing, Advanced Minerals Corporation, Technical Note: AMC03, Santa Barbara, 5 p., (2005).
- [109] Harben, P.W., Diatomite, The Industrial Minerals Handy Book, *Industrial Minerals Div.*, 57-61, Warwick, England, 57-61, (1995).