

Kağıt endüstrisi atıksu arıtma tesislerinde çamur işleme ünitelerinin toplam maliyete etkisi

Emre KÖKEN, Nurdan BÜYÜKKAMACI*

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35160, Buca, İzmir

Özet

Kağıt endüstrisi, en fazla atıksu üreten endüstriler arasındadır ve oluşan atıksuyun özellikleri üretilen kağıdın tipine ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak kağıt sanayi atıksuları yüksek organik kirliliğe ve yüksek askıda katı madde konsantrasyonlarına sahip atıksular oldukları için çoğunlukla biyolojik arıtma işlemleri kullanılarak arıtılmaları tercih edilmektedir. Ancak, içerdikleri zor parçalanabilir maddeler nedeniyle biyolojik arıtmada arıtılmaları her zaman iyi sonuç vermemektedir. Bu durumda kimyasal arıtma, kimyasal oksidasyon, anaerobik arıtma vb. alternatifler de değerlendirilmektedir. Uygun arıtma alternatifi belirlenirken en önemli hususlardan birisi de yatırım ve işletim maliyetidir. Bu çalışmada, kağıt endüstrisi atıksu arıtma tesislerinde, çamur işleme ve bertaraf ünitelerinin yatırım, inşaat ve işletme maliyetlerinin toplam arıtma maliyeti içerisindeki yerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Orta kirlilik yüküne sahip kağıt endüstrisi atıksularını temsil edebilecek atıksu özellikleri belirlenerek 3000 – 10000 m³/gün arasında değişen debiler için bu endüstrinin atıksularının arıtıldığı tesislerde maliyet hesabı yapılmıştır. Bu amaçla, orta kirlilik yüküne sahip kağıt endüstrisi atıksularının arıtılabileceği kimyasal arıtma, aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma işlemlerini kapsayan üç alternatif akım şeması oluşturulmuş ve her bir alternatif için yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Çamur işleme üniteleri olarak yoğunlaştırma havuzu ve bant filtrenin kullanıldığı su alma ünitesi dikkate alınmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde, atıksu arıtımında olduğu gibi çamur işleme ve bertaraf işlemleri açısından da, kimyasal arıtma kullanılmayan yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör ve klasik aktif çamur sisteminin birlikte kullanıldığı alternatifin en az maliyete sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çamur, maliyet, kağıt endüstrisi, arıtma.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Nurdan BÜYÜKKAMACI. nurdan.buyukkamaci@deu.edu.tr; Tel: (232) 412 71 06. Bu makale, 04-06 Kasım 2009 tarihleri arasında İzmir’de düzenlenen 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu’nda sunulan bildiriler arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 19.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 02.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of sludge management systems on overall pulp and paper industry wastewater treatment plant cost

Extended abstract

Pulp and paper industry is one of the most in high amount wastewater discharge, and the properties of the wastewater change depending on the type and quality of the paper produced. In general, this industry effluent has high organic material and suspended solids. Since biological treatment does not adequate to treat by itself due to the non-biodegradable organic material content of the wastewater, additional treatment processes such chemical treatment, anaerobic treatment is required. During the decision stage of appropriate treatment plant from among the alternatives, investment and operational costs are two of the most important subjects. In an effort to counteract wrong choices of evaluating the treatment alternatives and construction stages, detailed cost analysis have to be done and the economical solution needed to select by comparing the alternatives. This evaluation must also be done for sludge handling and disposal systems during the determination of the most suitable treatment process.

In this study, it was aimed to evaluate the effect of the investment, construction, and operational cost of sludge handling and disposal systems on overall pulp and paper effluent treatment costs. Cost analyses were carried out depending on medium strength pulp and paper industry effluent. For this purpose, various flow rates changing between 3000 to 10000 m³/day were chosen and three alternative treatment plant flow schemes were generated. Chemical treatment or biological treatment processes are not adequate itself to reduce the effluent to the expected discharge concentrations for the medium strength effluents of paper and pulp industry wastewaters. Therefore the combinations of chemical treatment and activated sludge (CT+AS), chemical treatment and extended aeration activated sludge (CT + EAS), and up-flow anaerobic sludge blanket reactor and activated sludge (UASB + AS) were used in generated treatment plant flow scheme. Gravity thickener and belt filter were taken into consideration as sludge handling units.

The projecting and cost analysis calculations have done by computer program which was developed in MS Excel. During the projecting of treatment plants, average assumptions have done to realize the cost of

the plant. Authors preferred the assumption values between the literately boundary values and biased more negative conditions.

Investment cost was composed of civil works cost, footprint cost of the plant, and mechanical instrument costs. Besides transportation, electrical works, piping, consultancy costs were taken into consideration as percentage of investment cost. The investment cost of blowers and belt-press which was chosen as dewatering equipment was selected from the catalogs of manufacturers.

One of the most notable aspects on cost analysis is that the construction and maintenance costs are not only the major components of total cost of the plants in its economic life. Operation, maintenance and rehabilitation costs also acts important role in total cost. Since the investment cost like construction and mechanical installation and monthly costs like operation, maintenance and rehabilitation are not occur at the same time, these costs have to be written in same form to make sufficient comparison. Hence, in this study the investment cost uniformly distributed with 8% of discount rate to months for its determined 20-year of economical life.

Sludge handling and disposal cost analysis includes both investment and operational cost. Besides traditional operational cost components like electricity and chemical consumption, final disposal payments for landfilling, transportation of sludge cake was also taken into consideration. The percentages of investment costs to the total costs of CT + AS, CT + EAS, and UASB + AS combinations were found as 53%, 47%, and 29% respectively. The percentages of operational costs were more than investment costs: 65%, 69%, and 52% of the total operational costs were results of sludge production mechanism of CT+AS, CT + EAS, and UASB + AS combinations, respectively.

Finally, alternative flow schemes which include chemical treatment process were found as the most expensive option for sludge handling and disposal. This result was not a surprise; this was because of huge amount of sludge produced during the chemical treatment. In general, anaerobic biological treatment process produces less sludge. The results also confirm this rule. The combination of UASB + AS was found the most economic solution.

Keywords: Sludge, cost, pulp and paper industry, treatment.

Giriş

Kağıt endüstrisi en fazla suya ihtiyaç duyan sektörlerden birisidir. Su tüketimi, üretilen kağıdın tipine ve üretim şekline göre değişmekle birlikte ortalama olarak bir ton kağıt üretmek için 50 ton suya ihtiyaç olduğu söylenebilir (Nemerow, 2006). Özellikle kağıt hamuru üretimi sırasında büyük hacimde ve yüksek kirlilik içeren atıksular oluşmaktadır. Kağıt hamuru üretiminde kullanılan teknolojiye göre atıksuların özellikleri değişmektedir (Wang vd., 2006; Eckenfelder, 2000).

Kağıt endüstrisi atıksularının arıtılması için genellikle fiziksel arıtma işlemlerini takiben, kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma gerekmektedir. Uygulanan arıtma işlemleri sırasında da büyük hacimlerde arıtma çamuru ve özellikle de kimyasal arıtma çamuru oluşmaktadır. Oluşan çamurların su içeriği %1-1.5 civarındadır (Filibeli, 2005) ve çamurların bertaraf edilebilmesi için yoğunlaştırma ve su alma işlemlerinin uygulanması gereklidir. Sunulan çalışma kapsamında, kullanılması gereken çamur işleme ve bertaraf ünitelerinin toplam arıtma maliyeti içerisindeki yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, tesislerin boyutlandırılması ve maliyet analizinin yapılması için geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır (Köken, 2008).

Yöntem

Atıksu özellikleri ve akım şemaları

Bu çalışmada, atıksu debileri mevcut kağıt üretim tesisleri göz önüne alınarak 3000 – 10000 m³/gün arasında değişen değerlerde kabul edilmiştir. Kirlilik yükü için KOİ ve AKM parametreleri dikkate alınmıştır. Orta kirlilik yüküne sahip tesisleri temsil etmesi amacıyla KOİ konsantrasyonu 5000 mg/L ve AKM konsantrasyonu 2000 mg/L olan atıksu için hesaplamalar yapılmıştır.

Özellikleri kabul edilen atıksuların arıtılabilmesi için üç farklı arıtma tesisi akım şeması oluşturulmuştur. Tüm akım şemalarında fiziksel arıtma işlemi olarak kaba ızgara, ince ızgara, tambur elek ve dengeleme havuzu kullanılmıştır. Fiziksel arıtma işlemlerini takiben kullanılan arıtma üniteleri:

- Kimyasal arıtma + klasik aktif çamur sistemi
- Kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi
- Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör + klasik aktif çamur sistemi

Oluşan çamurlar için, kimyasal çamurlar ve biyolojik çamurlar ayrı olmak üzere, önce graviteli yoğunlaştırıcı daha sonra da bant filtrenin kullanılacağı kabul edilmiştir. Ülkemizdeki pek çok kağıt sanayi atıksu arıtma tesislerinde çamur stabilizasyon işlemleri uygulanmadığı için ve bu çalışmada uygulamadaki durumlar dikkate alınarak varsayımlar yapıldığı için, çamur stabilizasyon işlemi göz önüne alınmamıştır. Susuzlaştırılan çamurların uzaklaştırılması amacıyla deponide nihai bertaraf maliyeti ve deponiye taşıma maliyetleri dikkate alınmıştır.

Proses tasarımı ve maliyet hesabında kullanılan bilgisayar programı

Bu çalışmada ünitelerin boyutlandırılması ve maliyet analizinin yapılması işlemleri, geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır (Köken, 2008). Bu program, esas olarak aktif çamur süreçleri, anaerobik çamur yataklı reaktör ve kimyasal arıtma sistemleri için geliştirilmiştir. Bununla beraber, bu sistemler için gerekli fiziksel arıtma üniteleri ve bazı çamur bertaraf sistemlerini de boyutlayabilmektedir. Boyutlandırma işlemini takiben kullanıcı tarafından tanımlanan belirli kabuller altında ünitelerin önemli kalemlerine ait metraj hesaplarını yapmakta ve kullanıcı tarafından tanımlanan birim fiyatlar ile ünite inşaat maliyetlerini hesaplamaktadır.

Tasarımda yapılan kabuller

Arıtma tesisinin boyutlandırılması sırasında maliyeti olabildiğince gerçekçi yansıtabilmek amacıyla, yapılan kabullerin seçiminde literatürdeki sınırlar içerisinde ve olumsuz şartlara daha yakın değerlerin tercih edilmesine dikkat edilmiştir.

İlk yatırım maliyeti olarak inşaat maliyeti, alan maliyeti ve mekanik ekipman maliyetleri dikkate alınmıştır. Bununla beraber taşıma, elektrik tesisat, tesisat, proje-kontrolörlük maliyetleri vb. maliyetler ilk yatırım maliyetinin belli bir yüzdesi olarak dikkate alınmıştır. Tesise ait

boyutlar program yardımıyla belirlendikten sonra belirli kabuller ışığında tesise ait metraj yapılmıştır ve Bayındırlık Bakanlığı'na ait 2007 yılı inşaat birim fiyatları kullanılarak inşaat maliyetleri her ünite başına ve toplam maliyetler olmak üzere hesaplanmıştır.

*İnşaat maliyeti hesabında yapılan kabuller-*Yapılacak kazılar için, kazı derinliğinin hesabında üniteler arasında iletimin hidrolik koşullarının yanı sıra ünitelerin zemininde oluşacak konsolidasyon (oturma) dikkate alınmıştır. Kazılarda standart çalışma genişlikleri eklenerek gerçeğe yakın kazı işleri hesapları yapılmıştır. Yapılan kazının hafriyatına ait maliyet, hafriyat sahasına ait uzaklığın bilinmemesi sebebiyle hesaplanamamıştır. İnşaat sırasında gerçekleştirilen tüm taşımaların maliyetinin inşaat maliyetinin %15'ini oluşturacağı öngörülmüştür. Yapılan yaklaşık statik hesaplar ışığında ünitelere ait duvar ve temel kalınlıkları 0.30 m olarak bulunmuştur. Özellikle havalandırma havuzu gibi derinliği fazla olan ünitelerde, havuz içerisindeki su kuvveti tabana doğru çok fazla kayma gerilmesi oluşturacağından buradaki kayma gerilmesini sadece perde duvarın karşılaması yerine toprak itkisinden yararlanarak duvar kesitleri 0,30m'de sabit tutulmuştur. Ünitelerde su geçirimsizlik katkılı C25 sınıfı beton kullanılması uygun görülmüştür. Kullanılacak demir donatı, yapılarda yaklaşık maliyet hesaplarında demir donatı miktarı için yapılacak kabullerde belirtilen 0.08-0.1 ton/m³ beton değerleri içerisinde, 0.1 ton/m³ beton olarak seçilmiştir.

*Alan maliyet hesabında yapılan kabuller-*Tasarlanan arıtma sisteminin yerleşim planı olmadığından, yapılan sistemlerin minimum alan gereksinimine göre yerleştirileceği kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Türkiye'nin değişik organize sanayi bölgelerindeki yaklaşık alan değerleri dikkate alınarak arıtma tesisinin yapılacağı alanın değeri 100 TL/m² olarak seçilmiştir.

Mekanik ekipman seçimi- Arıtma tesislerinde ilk yatırım ve işletim maliyeti en yüksek olan mekanik ekipman blowerlardır. Çamur susuzlaş-

tırma üniteleri de yatırım maliyetinde önemli ölçüde yer tutmaktadır. Tesiste kullanılan blowerlar ve çamur susuzlaştırma ünitesi olarak seçilen bant filtrenin birim fiyatları, ilgili firma kataloglarından seçilmiştir. Bu ekipmanlara ilave olarak, çökeltim havuzları sıyırıcıları da ilk yatırım maliyeti yüksek ekipmanlardır. Çökeltim havuzlarına yapılacak sıyırıcı sistemine ait yatırım maliyeti, çökeltim havuzu sıyırıcıları üreten bir firmaya ait katalogdan çaplara bağlı demir aksam ağırlıklarından yararlanarak birim fiyatlardan işlenmiş demir aksam fiyatı kullanılarak hesaplanmıştır. Çökeltim havuzlarında savak maliyeti, sıyırıcı maliyetinin yanında göz ardı edilebilecek kadar az olduğundan, dikkate alınmamıştır. Pompalar ve borulama- tesisat maliyetlerinin, inşaat maliyetinin %3'ünü oluşturacağı kabul edilmiştir.

İşletme ve bakım maliyetleri- İşletme maliyetleri olarak elektrik, koagülant, çamurun deponide nihai bertaraf edilmesi için ödenecek bedel ve nihai bertaraf için yapılacak taşıma maliyeti dikkate alınmıştır. Tesisin yıllık bakım maliyetleri, yatırım bedelinin %3'ü olarak alınmıştır.

Diğer maliyetler- Tesisin proje, danışmanlık ve kontrolörlük maliyeti olarak inşaat maliyetinin %15'i kabul edilmiştir. Elektrik tesisat maliyeti tesis inşaat maliyetinin %15'i olarak alınmıştır. Hesaplanamayan diğer maliyetler, inşaat maliyetinin %3'ü olarak alınmıştır.

Tesis amortismanı- Alternatif tesislerin kıyaslanması için tesisin faaliyete geçmesine kadar yapılan ilk yatırım masrafları (peşin değerler) ile tesisin faaliyeti süresince yapılacak işletme, bakım ve yenileme masrafları (yıllık değerler) göz önüne alınmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için, tüm bileşenlerin aynı zaman boyutuna indirgenmesi gerekir. Bu aşamada yıllık değerler ekonomik analiz süresinin başında peşin değer haline getirilebileceği gibi, peşin değerlerin yıllık üniform değer dizisine indirgeyerek de kıyaslama yapılabilir. Bu çalışmada ekonomik analiz süresi (N) 20 yıl ve faiz oranı (f) %8 seçilerek Denklem 1 ile ekonomik analiz süresi başlangıcındaki ilk yatırım masrafı, yıllık üniform değer dizisine indirgenmiştir (Öziş, 2004).

$$Y = P \frac{f(1+f)^N}{(1+f)^N - 1} \quad (1)$$

İşletme ve bakım masraflarının da üniform olduğu kabul edilerek yıllık üniform maliyetler üzerinden alternatifler kıyaslanmıştır.

Sonuçlar

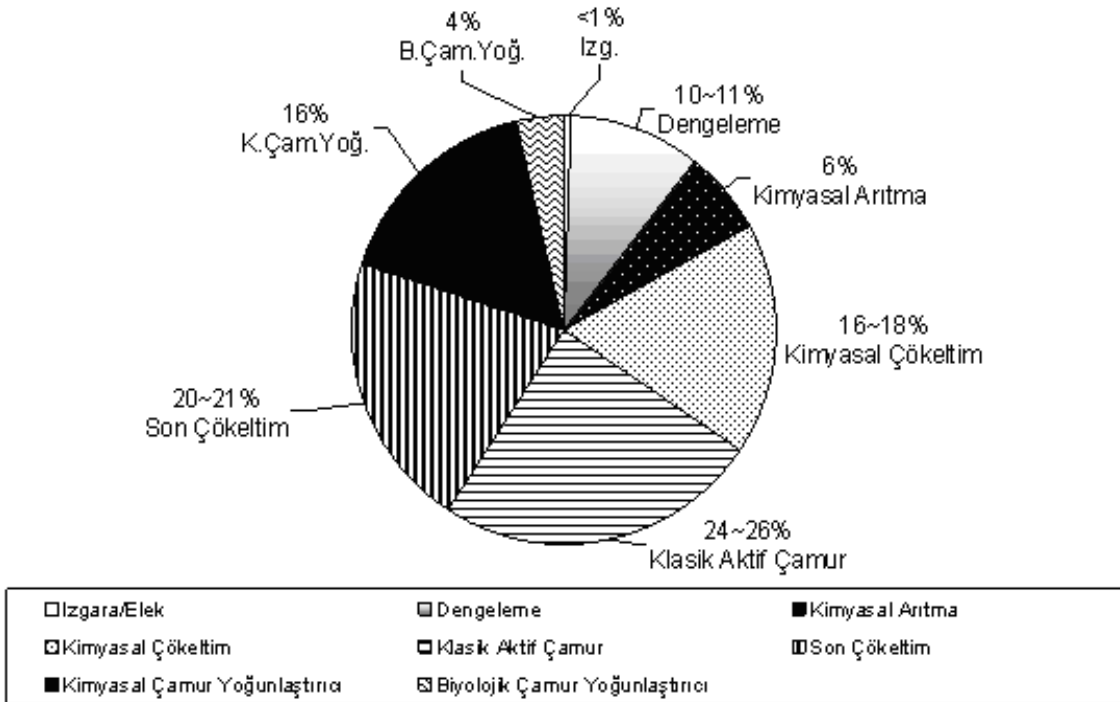
Kimyasal arıtma + klasik aktif çamur sistemi

Kağıt endüstrisi atıksuları AKM ve biyolojik olarak parçalanması zor kirleticiler içeriği nedeniyle genellikle öncelikle kimyasal arıtma işlemlerine tabi tutulurlar. Kimyasal arıtma sürecinde kullanılan kimyasal maddeler nedeniyle fazla miktarda ve bertaraf edilmesi problem olan arıtma çamurları oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, fiziksel arıtma ve kimyasal arıtma işleminden sonra alıcı ortama deşarj limitlerini sağlamak için kimyasal arıtmayı takiben klasik aktif çamur sistemi dikkate alınmıştır. İnşaat maliyetleri açısından incelendiğinde, kimyasal çamur yoğunlaştırıcının toplam maliyette %16'lık; biyolojik çamur yoğunlaştırma havuzunun ise %4'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1). Toplamda çamur yoğunlaştırma havuzları arıtma tesisleri inşaat maliyetinin

%20'sini oluşturmaktadır. İnşaat maliyetinde en büyük pay klasik aktif çamur sistemine aittir. Havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzu beraber dikkate alındığında yaklaşık %45 paya sahiptir.

Orta kirlilik yüküne sahip kağıt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtma + klasik aktif çamur süreci (KA + KAÇ) ile arıtılacağı öngörülen arıtma tesisi için yatırım maliyeti bileşenleri Şekil 2'de verilmektedir. Yatırım maliyetleri içerisinde en büyük pay %50'lik dilim ile çamur susuzlaştırma ekipmanlarına aittir. Ekipman maliyetinin çok yüksek olmasının en önemli sebebi kimyasal arıtmada seçilen koagülantlar ve sarfiyatlarına bağlı oluşan kimyasal çamurdur. Seçilecek koagülant, sarfiyat miktarı dolayısıyla oluşan çamur miktarı ve seçilecek çamur susuzlaştırma ekipmanı tipine bağlı olarak bu değer değişebileceği unutulmamalıdır.

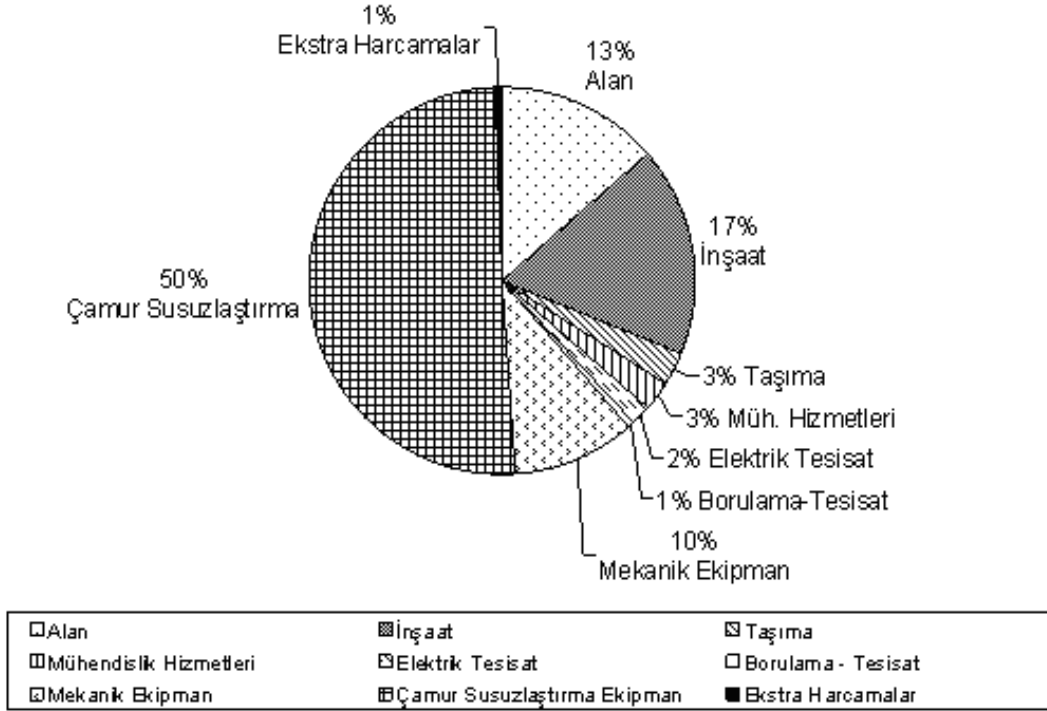
İşletme maliyetleri göz önüne alındığında da çamur bertaraf maliyetleri büyük bir paya sahiptir. Kimyasal arıtmanın kullanıldığı tesislerde kimyasal madde sarfiyatının büyük maliyet getirdiği düşünülmektedir. Ancak, toplamda



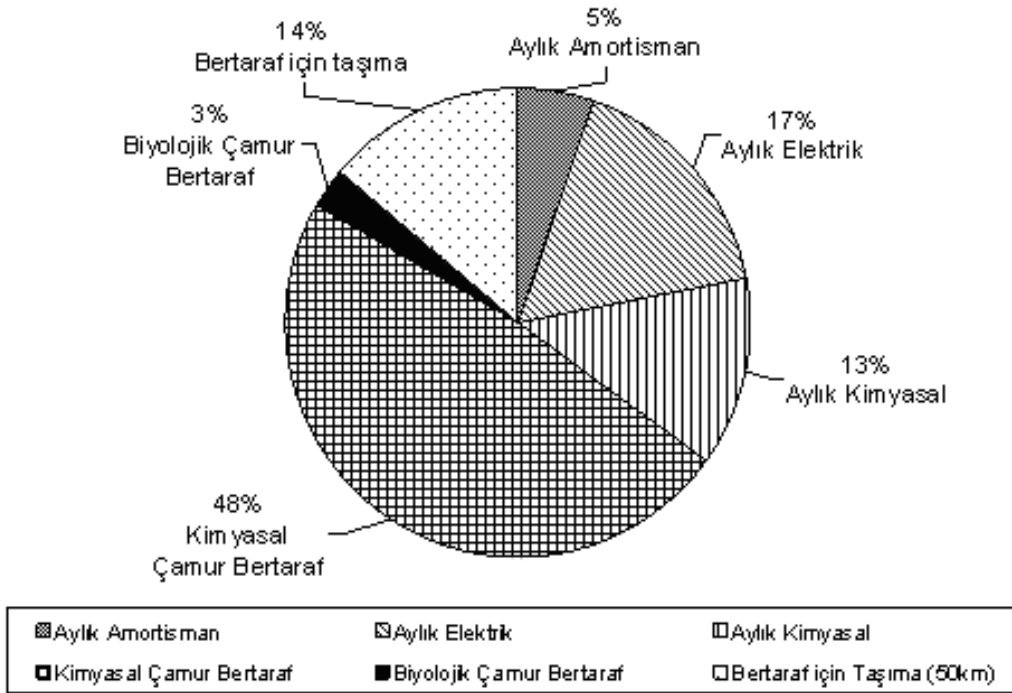
Şekil 1. Orta kirlenici konsantrasyonlu atıksular için yapılacak kimyasal arıtma + klasik aktif çamur süreçli arıtma tesisi inşaat maliyeti bileşenleri

bakıldığında kimyasal madde sarfiyatından kaynaklanan işletme maliyeti sadece %13'lük paya sahiptir. Taşıma maliyetleri ile beraber

çamur bertaraf maliyetleri toplam işletme ve bakım giderlerinin %65'ini oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Kimyasal arıtma + klasik aktif çamur süreci ile arıtılacak orta kirletici konsantrasyonlu atıksuların arıtma tesisi yatırım bileşenleri



Şekil 3. Kimyasal arıtma + klasik aktif çamur süreci ile arıtılacak orta kirletici konsantrasyonlu atıksuların arıtma tesisi işletme maliyeti bileşenleri

Kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi

Kağıt endüstrisi atıksularında biyolojik olarak parçalanması zor olan maddeler olduğu için kimyasal arıtmayı takiben klasik aktif çamur sistemi kullanılması yerine uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin kullanılması daha yaygındır. Uzun havalandırmalı sistemlerde alıkonma zamanı büyük olduğu için havuz hacimleri büyük çıkmakta ve inşaat maliyetini arttırmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminde yer alan havalandırma havuzunun inşaat maliyeti tek başına toplam inşaat maliyetinin %44-51'ini oluşturmaktadır. Son çökeltim havuzu ile beraber uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin inşaat maliyetine etkisi %57-66'ya kadar çıkmaktadır. Çamur işleme ünitelerinin inşaat maliyeti ise %16'dır. Klasik aktif çamur sisteminin kullanıldığı alternatif akım şemasına göre, çamur işleme ünitelerinin inşaat maliyetinin toplam maliyete etkisi daha azdır.

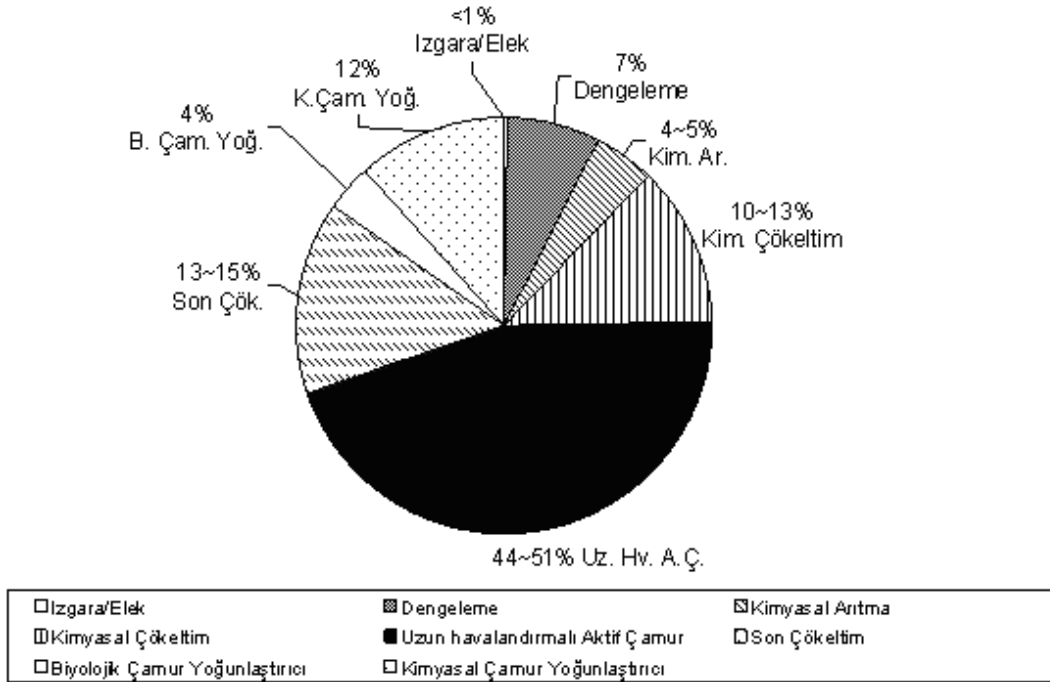
Kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur süreci (KA + UHAÇ) ile arıtılacağı öngörülen arıtma tesisi için yatırım maliyeti bileşenleri Şekil 5'te verilmektedir. Yatırım maliyet-

leri, kimyasal arıtma + klasik aktif çamur süreci ile karşılaştırılacak olursa toplam maliyetteki ekipman maliyeti azalmakla beraber, yine en büyük pay çamur susuzlaştırma ekipmanlarına aittir.

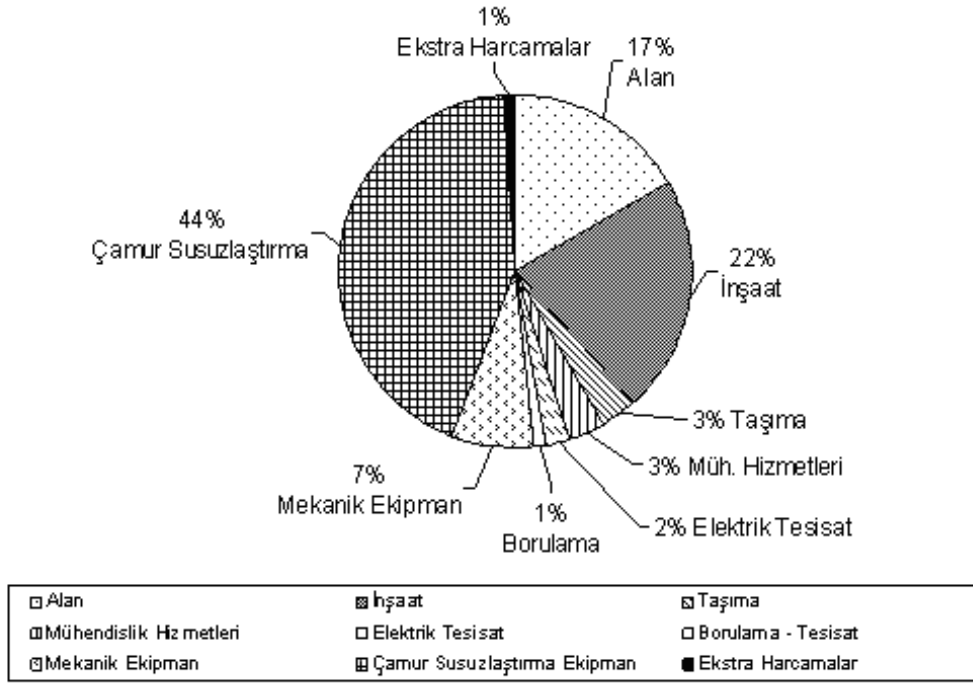
İşletme maliyetleri göz önüne alındığında çamur oluşum miktarı ve bertaraf maliyetleri azalsa da uzun havalandırma klasik aktif çamura göre daha verimli bir sistem olduğundan toplam işletme maliyeti düşmekte, bu sebeple de çamur bertaraf maliyetinin payı büyümektedir (Şekil 6). Her iki sistemdeki kimyasal arıtma aynı özelliklerde olduğundan maliyette bir değişiklik olmamıştır. Klasik aktif çamur sürecinde havalandırma süresi uzun havalandırmaya nazaran daha az olması ve daha kısa sürede yeterli oksijenin sağlanması için daha büyük blowerlar gerektiğinden elektrik tüketimi daha fazladır. Bu durum özellikle 5000 m³/gün'lük tesisler için hem mekanik ekipman hem de aylık enerji tüketimi için açıkça görülebilmektedir.

Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör + klasik aktif çamur sistemi

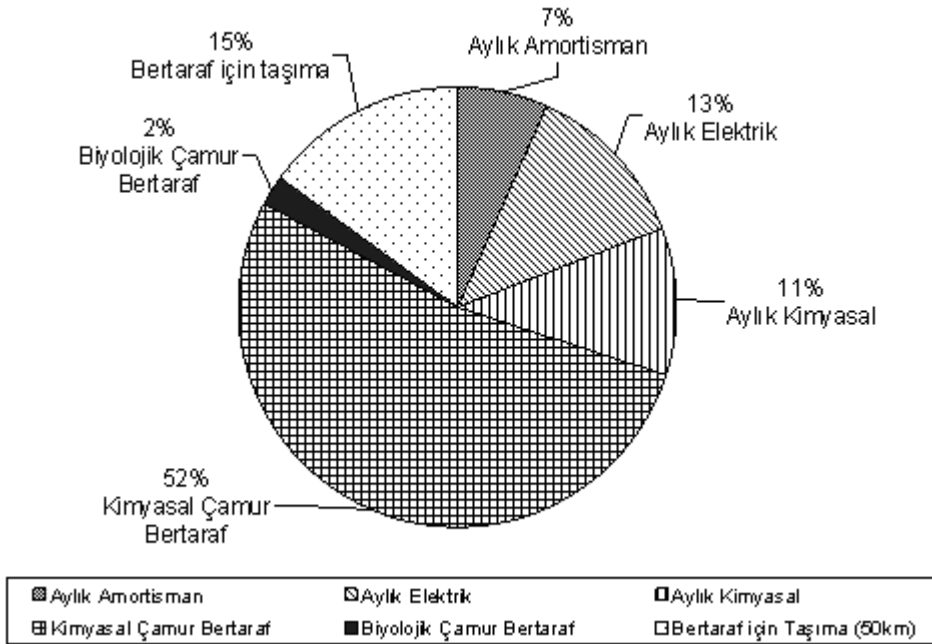
Kağıt endüstrisi atıksuları anaerobik biyolojik prosesler kullanılarak arıtmaya uygun karakterdedir. Özellikle daha yoğun organik kirliliğe



Şekil 4. Orta kirlilikli konsantrasyonlu atıksular için yapılacak kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur süreci arıtma tesisi inşaat maliyeti bileşenleri



Şekil 5. Kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur süreci ile arıtılan orta kirletici konsantrasyonlu atıksuların arıtma tesisi yatırım bileşenleri



Şekil 6. Orta kirletici konsantrasyonlu atıksular için yapılacak kimyasal arıtma + uzun havalandırmalı aktif çamur süreçli arıtma tesisi işletme maliyeti bileşenleri

sahip atıksular için anaerobik arıtma seçeneği değerlendirilmesi gereken alternatiflerdendir. Anaerobik prosesler arasında endüstriyel atıksuların arıtılmasında en yaygın kullanılan ve en iyi sonucu veren proseslerden birisi yukarı

akışlı çamur yataklı anaerobik reaktördür (UASB). Anaerobik arıtmadan sonra çıkan suyun kalitesi çoğu zaman deşarj limitlerini sağlayacak özellikte olmamaktadır. En azından suya oksijen kazandırmak amacıyla kısa süreli

havalandırma işleminin uygulanacağı bir havuzdan geçirilerek su deşarj edilmelidir. Bu çalışma kapsamında, UASB reaktörünü takiben klasik aktif çamur sisteminin kullanılacağı (UASB + KAÇ) düşünülerek hesaplar yapılmıştır.

İnşaat maliyetleri açısından yapılan değerlendirilmede anaerobik reaktörün en büyük paya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Anaerobik reaktörün yüksek ve dairesel planlı olması inşaat maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca ısı ve asit reaksiyonlarına karşı yapılan yalıtım, maliyeti daha da arttırmaktadır.

Şekil 8’de görüldüğü gibi anaerobik arıtma ve klasik aktif çamur sisteminin beraber kullanıldığı arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma ekipmanı maliyeti toplam yatırım maliyetinin %24’lük kısmını oluşturmaktadır. Kimyasal arıtma içeren alternatiflerine göre önemli kazanç sağlamaktadır.

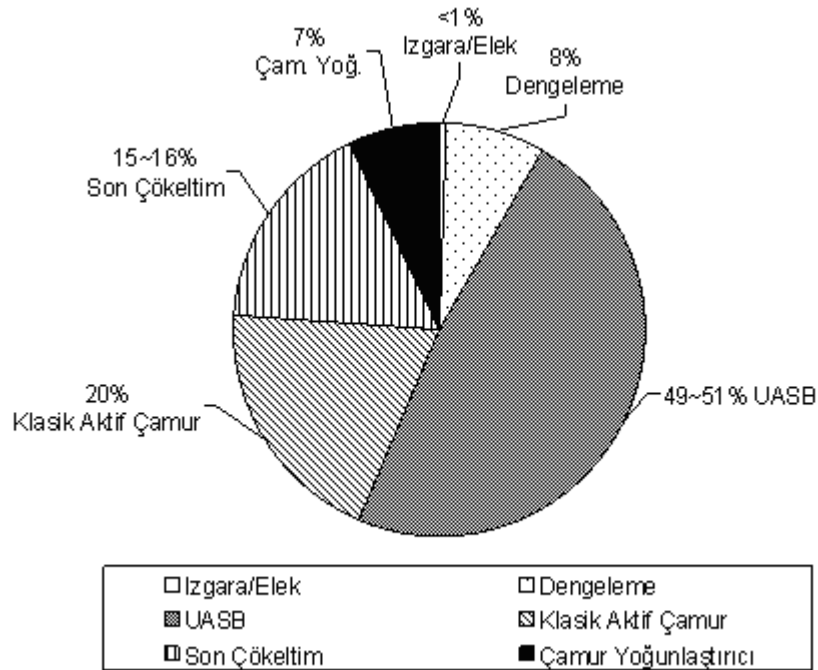
Çamur bertaraf ve taşıma maliyetleri, toplam işletme ve bakım giderinin %52’sini oluşturmaktadır. Kimyasal arıtma alternatiflerine göre çamur bertarafı payı önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 9).

Sonuçların değerlendirilmesi

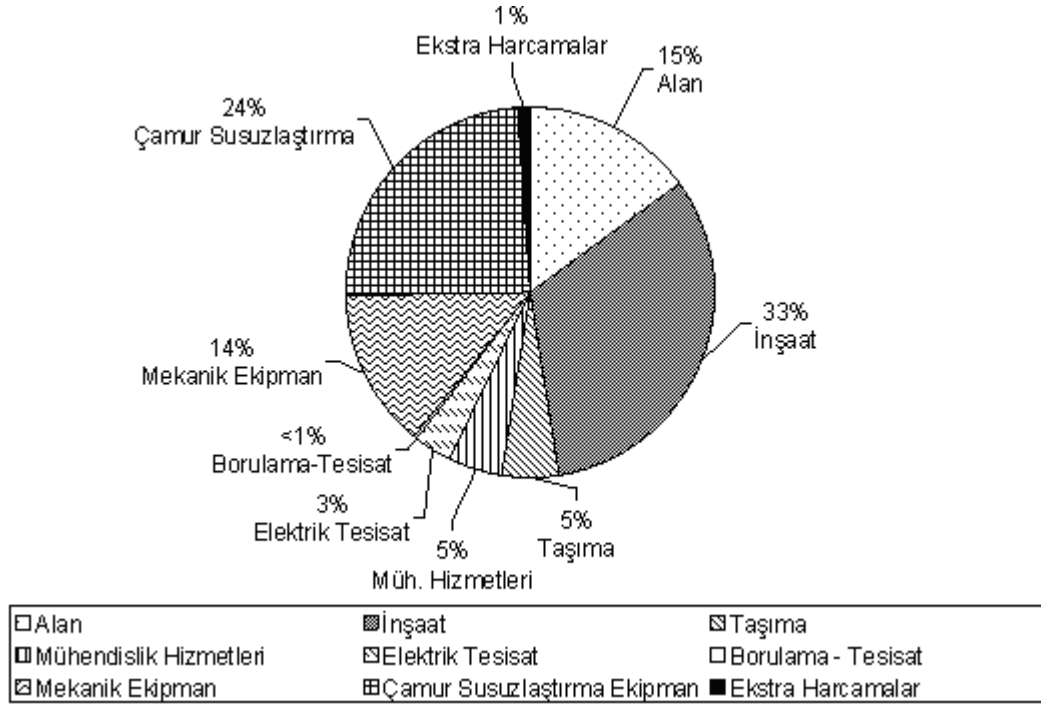
Yapılan kabuller ve hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar özet tablo halinde Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda her üç arıtma seçeneği için (KA + KAÇ, KA + UHAÇ, UASB + KAÇ) tüm yatırım, işletme ve bakım masrafları dökümü görülmektedir.

Atıksu arıtımında olduğu gibi çamur işleme ve bertaraf işlemleri açısından incelendiğinde de, kimyasal arıtma kullanılmayan seçeneğin (UASB+KAÇ) en az maliyete sahip olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal arıtmada kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak meydana gelen aşırı miktarda çamur oluşumu nedeniyle, kimyasal arıtma işleminin yer aldığı tesislerde çamur işleme ve bertaraf ünitelerinin maliyetleri de artmaktadır. Anaerobik arıtma işleminin avantajları arasında sayılan az miktarda çamur oluşumu, yapılan hesaplamalarda da belirgin fark oluşturmuştur. UASB sisteminin kullanıldığı seçenekte, çamur susuzlaştırma ekipmanı için yapılan yatırım maliyeti diğer alternatiflere göre yaklaşık %40 daha azdır.

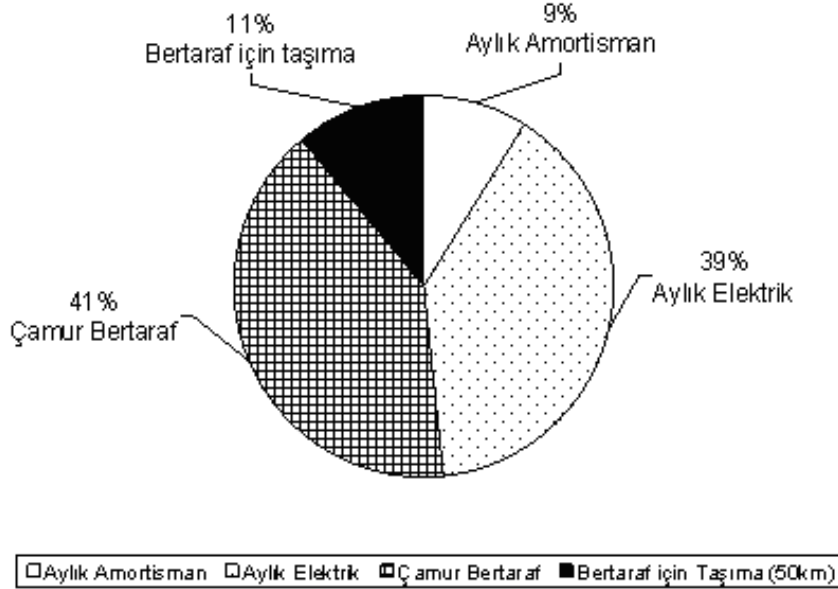
Son zamanlarda çamur arıtımı ve bertaraf edilmesi üzerine yapılan çalışmalar, çamur miktarının azaltılması üzerine yoğunlaşmıştır. Oluşan



Şekil 7. Orta kirlenmiş konsantrasyonlu atıksular için yapılacak UASB + klasik aktif çamur süreçli arıtma tesisi inşaat maliyeti bileşenleri



Şekil 8. UASB + Klasik aktif çamur süreci ile arıtılacak orta kirletici konsantrasyonlu atıksuların arıtma tesisi yatırım maliyeti bileşenleri



Şekil 9. UASB + Klasik aktif çamur süreci ile arıtılacak orta kirletici konsantrasyonlu atıksuların arıtma tesisi işletme maliyeti bileşenleri

çamurların, yönetmeliklerimize göre tehlikeli atık sınıfına girmesi durumunda bertaraf edilmesi ülkemizde büyük bir problem oluşturmaktadır. Bu çalışmada örnek endüstri olarak seçilen kağıt endüstrisinde olduğu gibi diğer tüm

endüstriyel atıksuların arıtılması için uygun alternatifler değerlendirilirken en az çamur oluşumuna sebep olacak ve en az yatırım ve işletme maliyetine sahip ünitelerin seçilmesine özen gösterilmelidir.

Tablo 1. Üç farklı proses ile arıtılacak üç farklı debideki orta kirletici konsantrasyonlu atıksu arıtma tesislerine ait maliyetler

PROSES Debi(m ³ /gün)	KA + KAÇ			KA + UHAÇ			UASB + KAÇ			
	3000	5000	10000	3000	5000	10000	3000	5000	10000	
Alan, TL	118651	182281	341400	160526	252036	477405	94039	143389	268534	
İnşaat, TL	189156	250240	391754	263550	357656	590416	237376	326571	528547	
Taşıma, TL	28373	37536	58763	39533	53648	88562	35606	48986	79282	
Mühendislik Hizmetler, TL	28373	37536	58763	39533	53648	88562	35606	48986	79282	
Elektrik Tesisat, TL	18916	25024	39175	26355	35766	59042	23738	32657	52855	
Borulama Tesisat, TL	5675	7507	11753	13178	17883	29521	7121	1656	2267	
Mekanik Ekipman, TL	62000	155000	225000	66000	86500	188000	62000	155000	225000	
Çamur Susuzlaştırma Ekipman, TL	450000	675000	1325000	425000	650000	1325000	170000	225000	450000	
Diğer, TL	5675	7507	11753	13178	17883	29521	7121	9797	15856	
Toplam Yatırım, TL	906818	1377632	2463361	1046851	1525020	2876030	672607	992041	1701623	
İŞLETME GİDERLERİ	Elektrik, TL/ay	11400	27400	42000	11400	18700	41500	11400	27400	42000
	Kimyasal, TL/ay	13157	21930	43860	10100	16000	29600	-	-	-
	Kim. Çamur Bertaraf, TL/ay	47984	79978	159956	47984	79978	159956	-	-	-
	Biyolojik Çamur Bertaraf, TL/ay	2880	4800	9600	2187	3645	7290	17100	28500	57000
	Bertaraf için Taşıma, TL/ay	13733	22890	45780	13546	22578	45156	4617	7695	15390
	Toplam İşletme, TL/ay	89154	156998	301196	85217	140901	283502	33117	63595	114390
Amortisman, TL/ay	5927	9004	16100	6842	9967	18797	4396	6484	11121	
Bakım, TL/ay	2236	3398	6075	2582	3761	7093	1659	2447	4197	
Toplam Aylık Gider, TL/ay (İşletme+Amortisman+Bakım)	97317	169399	323371	94641	154629	309392	39172	72525	129708	

Kaynaklar

- Nemerow, N.L., (2006). *Industrial waste treatment*, ISBN: 0123724937, Elsevier Science & Technology Books.
- Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H. ve Yapıjakis, C., (2006). *Waste treatment in the process industries*, ISBN: 978-0-8493-7233-9, Taylor & Francis Group.
- Eckenfelder, W.W., (2000). *Industrial water pollution control*, McGraw – Hill.

- Filibeli, A., (2005). *Arıtma çamurlarının işlenmesi*, 4.Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.
- Köken, E., (2008). Kağıt endüstrisi atıksu arıtma tesisleri maliyet analizi, *Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Öziş, Ü., Harmancıoğlu, N. ve Türkman, F., (2004). *Mühendislik sistemlerinin ekonomik analizi*, 4.Baskı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 194, İzmir.