

# HÜCRESEL SİNİR AĞLARI VE DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KULLANARAK FLOK VE FİLAMENLERİN BÖLÜTLENMESİ

Halime BOZTOPRAK\*

## Özet

Flok ve filamentlerin morfolojik karakterlerin incelenmesi, aktif çamur durumunun değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle flokların dokusal özellikleri ve serbest halde bulunan filament miktarlarının incelenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bölütleme aşamasının ayrı bir önemi vardır ve bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, Hücresel Sinir Ağları (HSA) kullanılmıştır. HSA'da sabit bir şablon kullanılmış, sadece iterasyon değeri görüntüye göre güncellenmiştir. İterasyon değerinin belirlenmesinde dalgacık metodu kullanılmıştır. Haar dalgacık filtresi kullanılarak ikinci seviyede ayırıştırma yapılmıştır. Bu ayırıştırma sonucu elde edilen alt bantların uzaysal frekans değerleri kullanılarak iterasyon değeri hesaplanmıştır. Çamur içinde serbest halde bulunan filamentlerin miktarı, çamurun özelliği açısından önemlidir. Görüntülerde, filamentler ve floklar iç içe yer alabilmektedir. Bu yüzden görüntüde serbest halde veya floklarla teması bulunan filamentlerin görüntüden ayırıştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla HSA işleminden sonra görüntüye bir dizi morfolojik işlemler uygulanmıştır. HSA bölütleme sonucu elde edilen görüntü, kenar çıkarma ve tophat dönüşümü uygulanan görüntüler ile piksel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, flok ve filamentler görüntünün özelliklerine göre ve çalışmanın amacına uygun olarak bölütlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bölütleme, Dalgacık dönüşümü, Filament, Flok, Hücresel sinir ağları, Morfolojik işlemler

## SEGMENTATION OF FLOC AND FILAMENTS USING CELLULAR NEURAL NETWORKS AND WAVELET TRANSFORM

### Abstract

Examination of morphological characteristics of flocs and filaments plays an important role for activated sludge. An examination should be conducted especially on textural features and free filament amounts. This is why the segmentation stage has a particular importance and there are many studies in this regard. In this study, cellular neural networks (CNN) were used. A constant template was used and it was only the iteration value that was updated according to image. Wavelet method was employed to determine the iteration value. Second level decomposition was made with Haar wavelet filter. Iteration value was calculated with spatial frequency values of subbands acquired from decomposition process. The free filament amount in sludge is substantial in terms of activated sludge features. Filaments and flocs in images may appear one within the other. Therefore, filaments that are present free or in contact with flocs should be degraded from the image. Hence, a series of morphological processes were applied on the image after CNN process. A comparison was made between the image acquired from CNN segmentation process and images acquired from edge extraction and top-hat transform. Consequently, flocs and filaments were segmented parallel to features of the image and aim of the study.

**Key Words:** Segmentation, Wavelet Transform, Floc, Filament, Cellular Neural Networks, Morphological processing.

\* Akdeniz Üniversitesi Akseki MYO Bilgisayar Programcılığı, Antalya  
E-posta: [hboztoprak@akdeniz.edu.tr](mailto:hboztoprak@akdeniz.edu.tr)

## 1. Giriş

Aktif çamur flokları, mikroorganizmalar, ölü hücreler, organik ve inorganik maddelerin karışımını içerir. Oluşan çamurlar her zaman için kolay kolay çökmez, ya doğru dürüst flok oluşmaz, ya da oluşan flok parçalanır, dağılır. Bu da arıtma verimini azaltır. Flokların büyüklüğü ve makro düzey yapılarındaki farklılıkları, çamur çökmesi probleminin önemli parametrelerinin başında gelmektedir. Flokların küçük ve büyük boyutlarında olması, flok başına 1-5 filamentli mikroorganizma barındırması, yapının gevşek veya sıkı olması katı-sıvı ayırımında büyük önem taşımaktadır (Jenkins ve ark., 1993; Sezgin ve ark., 1977). Özellikle filamentli mikroorganizmaların neden olduğu kabarma problemi her bir biyolojik arıtma sisteminde ve özellikle daha sık ve ciddi bir problem olarak aktif çamur arıtma sistemlerinde periyodik olarak ortaya çıkmakta ve arıtma sistemlerinin performansını düşürerek işletim problemlerine neden olmaktadır (Övez, 2010).

Aktif çamur sistemlerinde kabarma ve köpük problemleri pek çok evsel ve endüstriyel tesislerde meydana gelmektedir. Bunun sonucunda aktif çamurun taşmasına ve son çökeltim havuzunda da çökelmeme sebebiyle katı-sıvı ayırımı yapılamamaktadır. Probleme neden olan biyolojik parametrelerin özellikle flok yapısı ve filamentli mikroorganizmaların durumunun ortaya konmasının büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır (Övez, 2010).

Literatürde aktif çamur yapısını, yani flok ve filamentlerin özelliklerini karakterize etmek için görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmıştır (Rika ve ark., 2007; Ernst ve ark., 2006; Motta ve Amaral, 2001; Mesquita ve ark., 2009; Liwarska, 2005; Liwarska ve Bizukoje, 2005; Boztoprak ve ark., 2010). Görüntü işleme teknikleri flokların ve filamentli bakterilerin ölçümlerinde, kabarma olaylarının tahmininde başarılı olduğu vurgulanmıştır (Haliki ve ark., 2004). Banadda ve ark., (2005) aktif çamur performans değerlendirmelerinde, filamentli kabarmanın erken teşhisi için görüntü analizinin umut verici bir teknik olduğunu belirtmişlerdir. Çamurun çökme özelliklerinin görüntü analiziyle daha hassas olarak elde edilebildiğini belirtmişlerdir (Grijspeerdts ve Verstraete, 1997).

Çamur hacim indeksi (ÇHİ) değerinin (Mesquita ve ark., 2009) ve kabarma olaylarının (Rika ve ark., 2007) tahmin edilmesinde, aktif çamurdaki anormalliklerin belirlenmesinde (Mesquita ve ark., 2011) görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır.

Nisar ve arkadaşları aktif çamur flokların yapısının ve miktarının, atıksu arıtma tesislerindeki anormal olayların tahmininde yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, görüntüleri kenar bulma tekniği kullanarak bölütlemişlerdir. Daha sonra ilgili bölgelerin tespiti için morfolojik işlemler kullanmışlardır (Nisar ve ark., 2012).

Amaral ve Ferreirra (2005) flokların ayrıştırılmasında normalizasyon ve histogram eşitleme ile görüntü iyileştirilmiş ve sonrasında wiener filtre ile görüntüyü yumuşatmışlardır. Kilander ve arkadaşları (2006) histogram bilgisi kullanarak eşikleme işlemi yapmışlardır. Heine ve arkadaşları (2001) kenar bulma tekniği kullanmışlardır. Perez ve arkadaşları (2006) çalışmalarında, arka planın çıkarılması, histogram eşitleme, median filtreleme ve sonrasında morfolojik işlemler uygulamışlardır.

Literatürde genellikle flokların bölütlenmesinde kullanılan metotlar; eşikleme (Bizukoje ve ark., 2006; Lopez ve ark., 2005; Mesquita ve ark., 2008), kenar bulma teknikleri, (Heine ve arkadaşları 2001; Nisar ve ark., 2012) ve morfolojik tabanlı işlemler gibi temel

görüntü işleme teknikleridir. Birçok çalışmada ön işleme aşaması uygulanmış, sonrasında belirlenen bir eşik değeri ile istenen objeler bölütlenmiştir. Bunlar genelde arka planı çıkarma, histogram eşitleme ve median filtreleme işlemleridir. Bu çalışmada, HSA kullanılarak flok ve filamentlilerin bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir görüntünün sahip olduğu farklı özellikler sebebi ile değişen iterasyon sayısı kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Temel olarak önerilen yöntem, HSA kullanarak aktif çamur görüntülerin eşiklenmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada HSA'nın şablon katsayıları sabit tutulduğundan, iterasyon sayısı dalgacık dönüşümü kullanılarak hesaplanmıştır.

### 2.1.Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık Dönüşümü görüntü satır ve sütunlarının ayrı ayrı yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirilmesi ve aşağı örneklenmesi ile yapılır. Yatay olarak tüm satırlara alçak geçiren filtre ve yüksek geçiren filtre sırayla uygulanır. Daha sonra aynı işlem dikey olarak tekrarlanır. Özet görüntü düşük frekanslı bölgede taşınmaktadır. Yüksek frekanslı bölgelerde ise daha ziyade gürültüler ve ani değişimler taşınmaktadır. Dalgacık dönüşümü ile farklı ölçeklerde alçak-yüksek (LH), yüksek-alçak (HL), yüksek-yüksek (HH) uzaysal frekans bantlarına ve en küçük ölçekte alçak-alçak (LL) bantlar olmak üzere her bir görüntü 4 alt banda ayrıştırılmaktadır. LL bandı orijinal görüntü bilgilerini, diğer bantlar ise filtre işlem yönlerine göre yön bilgileri içermektedirler. Ana görüntünün boyutları 128x128 piksel ise, iki seviye dalgacık dönüşümü sonucunda alçak-alçak frekansa sahip görüntünün boyutları 32x32 olacaktır (Şekil 1).

LL <sub>2</sub>	HL <sub>2</sub>	HL <sub>1</sub>
LH <sub>2</sub>	HH <sub>2</sub>	
LH <sub>1</sub>		HH <sub>1</sub>

Şekil 1. İki seviyeli dalgacık dönüşümü

### 2.2.Hücresel sinir ağları

Hücresel Sinir Ağları (HSA), Chua ve Yang tarafından 1988 yılında önerilmiş olan bir mimardır (Chua ve Yang, 1988). Paralel sinyal işleme, sürekli-zaman dinamikleri ve gerçek zamanlı sinyal işleme gibi yapay sinir ağlarının önemli özelliklerini içinde barındırmaktadır. HSA'ların bir diğer önemli özelliği de sadece komşularıyla iletişim halinde bulunan analog sinyal işleyebilen düğüm yapısına sahip olmasıdır. Tüm hücrelerin birbirleriyle bağlantılı olmaları yerine sadece belli bir komşulukta bulunan hücrelerin birbirleriyle doğrudan, diğer hücrelerle ise dolaylı bağlantılı olması HSA devre yapısının karmaşıklığını azaltmakta, enerji

tüketimini düşürmektedir. Bu sayede diğer klasik yapay sinir ağları modellerine göre donanımsal gerçekleştirilmesi daha kolaydır (Sevgen, 2009).

Standart HSA yapısı M (satur) x N (sütun) boyutundaki dikdörtgen hücreler dizisinden oluşmaktadır. i. satır, j. sütundaki düğüm C(i,j) ile ifade edilir. (i=1,2,3...M, j=1,2,3...N). Her düğüm sadece kendisine komşu olan hücrelerle bağlantılıdır ve komşu hücreler birbirleriyle direkt etkileşimdedir (Chua ve Yang, 1988).

$S_r(i,j)$ , bir hücrenin r yarıçaplı etki alanı (sphere influence) olarak adlandırılır. Burada r, bir pozitif tamsayı olmak üzere komşuluk derecesi olarak isimlendirilir. Hücresel sinir ağı tanımlanırken bu r değeri seçilir. r=1 3x3 komşuluk olarak tanımlanır. Benzer şekilde r=2 komşuluk değeri, 5x5 komşuluk ve r=3 komşuluk değeri de 7x7 komşuluk olarak tanımlanabilir. Çoğu uygulamada r =1 yani 3x3 komşuluk kullanılır (Chua ve Yang, 1988; Sevgen, 2009). Bir hücresel sinir ağında C(i,j) hücrenin r-komşuluğu aşağıdaki ifadeyle tanımlanabilir:

$$S_r(i,j) = \{ C(k,l) | 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N \text{ max}\{ |k-i|, |l-j| \} \leq r \} \quad (1)$$

Standart bir HSA matematiksel olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Chua ve Yang, 1988):

$$\dot{x}_{ij}(t) = -x_{ij}(t) + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} A_{ij;k,l} y_{kl}(t) + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} B_{ij;k,l} u_{kl}(t) + I_{ij} \quad (2)$$

$$y_{ij} = \frac{1}{2} |x_{ij} + 1| - \frac{1}{2} |x_{ij} - 1| \quad (3)$$

Eşitlik (2) ve Eşitlik (3)'de,

$x_{kl}$ : C(i,j) hücrenin durum değişkeni,

$y_{kl}$ : Etki alanı içerisindeki hücrelerin çıkışları,

$u_{kl}$ : Etki alanı içerisindeki hücrelerin girişi,

$I_{ij}$ : Eşik değeri,

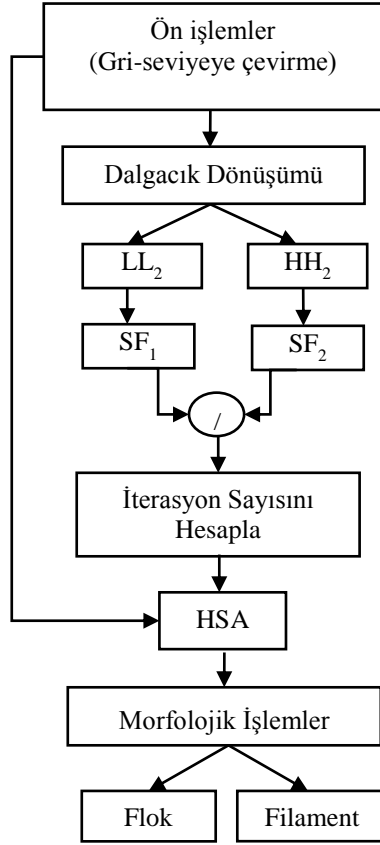
$A(i,j;k,l)$ ; Geri besleme operatörü,

$B(i,j;k,l)$ ; Giriş (kontrol) operatörü, olarak ifade edilmektedir.

Çıkış fonksiyonu  $y_{ij}$ , lineer olmayan ve hücrenin çıkışını tanımlayan karakteristik parçalı (piece-wise) bir fonksiyondur.

### 2.3.Flok ve Filamentlerin Bölütlenmesi

HSA kullanarak flok ve filamentlerin bölütlenmesinde önerilen yöntemin işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir. Konya Atıksu Arıtma Tesisinden alınmış aktif çamur görüntüleri öncelikle gri görüntüye çevrilmiştir. Daha sonra bu görüntüye dalgacık dönüşümü uygulanmıştır.



**Şekil 2.** Uygulanan bölütleme işleminin genel adımları

Haar dalgacık filtresi kullanılarak ikinci seviyede ayrıştırma yapılmıştır. Bu ayrıştırma sonunda  $LL_2$ ,  $HL_2$ ,  $LH_2$ ,  $HH_2$  alt bantları elde edilmiştir.  $LL_2$ ,  $HH_2$  alt bantlarının her biri için uzaysal frekans değerleri, Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmıştır. Boyutu  $N \times M$  olan bir  $F$  görüntü için uzaysal frekans Eşitlik (4)'deki gibi tanımlanır ( $F(m,n)$ ,  $(m,n)$  konumundaki bir pikselin gri seviyesini ifade eder).

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2} \quad (4)$$

Burada RF satır frekansı;

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=2}^N [F(m; n) - F(m, n - 1)]^2} \quad (5)$$

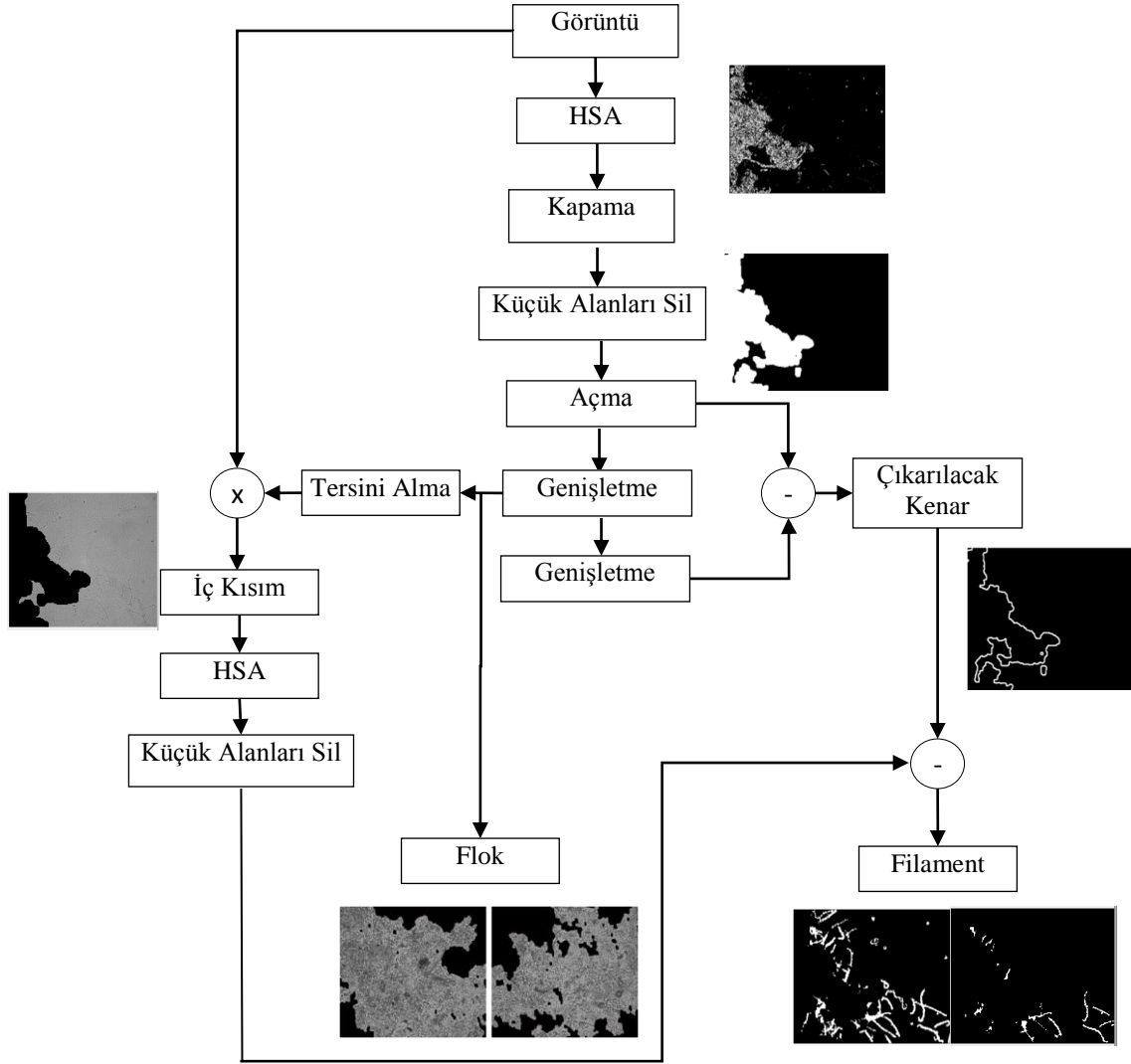
CF ise sütun frekansdır.

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{n=1}^N \sum_{m=2}^M [F(m; n) - F(m - 1, n)]^2} \quad (6)$$

İterasyon değeri bölütleme sonucunu çok fazla etkileyeceğinden dolayı önemlidir. Şablon katsayıları (A, B, I) sabit tutulduğunda iterasyon sayısının görüntünün özelliklerine göre belirlenmesi gerekmektedir (Boztoprak ve Özbay). Hem LL hem de HH alt bantları için elde edilen SF değerlerinin birbirlerine oranı S ile ifade edilmiştir. Bu S değeri Eşitlik (7)'de yerine koyarak HSA'nın iterasyon değeri (y) hesaplanmıştır.

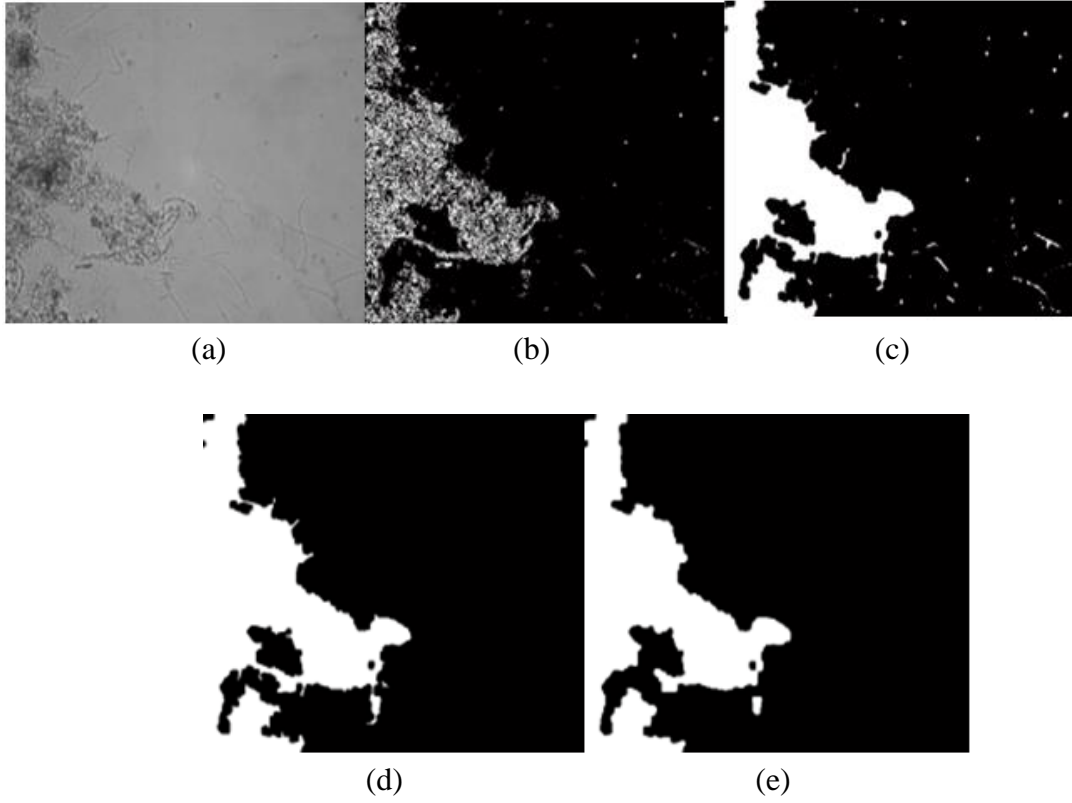
$$y = -42.21 * S^{-0.3343} + 52.68 \quad (7)$$

**Flokların Bölütlenmesi:** Flok ve filamentleri mümkün olduğunca doğru bir şekilde tespit etmek için HSA işleminden sonra morfolojik işlemler uygulanmıştır. Flok ve filamentlerin bölütlenmesinde uygulanan morfolojik işlemlerin genel şeması Şekil 3'de gösterilmiştir.

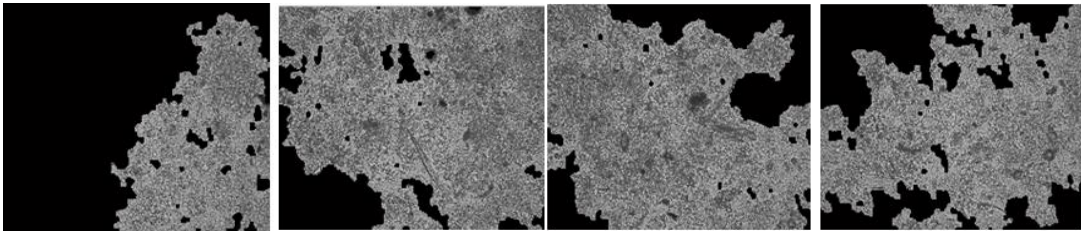


**Şekil 3.** Flok ve filamentlerin bölütlenmesi

İlk olarak, flokla birleşen filamentler görüntüden ayrıştırılmıştır. Bunun için HSA işleminden sonra elde edilen görüntüye, Şekil 3’de gösterildiği gibi görüntüye sırasıyla kapama, küçük piksellerin çıkarılması, açma, genişletme işlemleri uygulanmıştır. Şekil 4 (a)’da gri skaladaki görüntü, (b)’de HSA işleminden sonra elde edilen görüntü gösterilmiştir. Şekil 4 (c)’de kapama işlemi uygulanmış görüntü, (d)’de küçük piksellerin silindiği görüntü ve (e)’de de açma ve genişletme işlemlerinin art arda uygulanmasıyla elde edilen görüntü gösterilmiştir. Bu işlemler sonunda, floklarla teması bulunan filamentler görüntüden çıkarılmıştır. Bölütleme sonucu elde edilen flokların gri skalada görünümü Şekil 5’de gösterilmiştir.



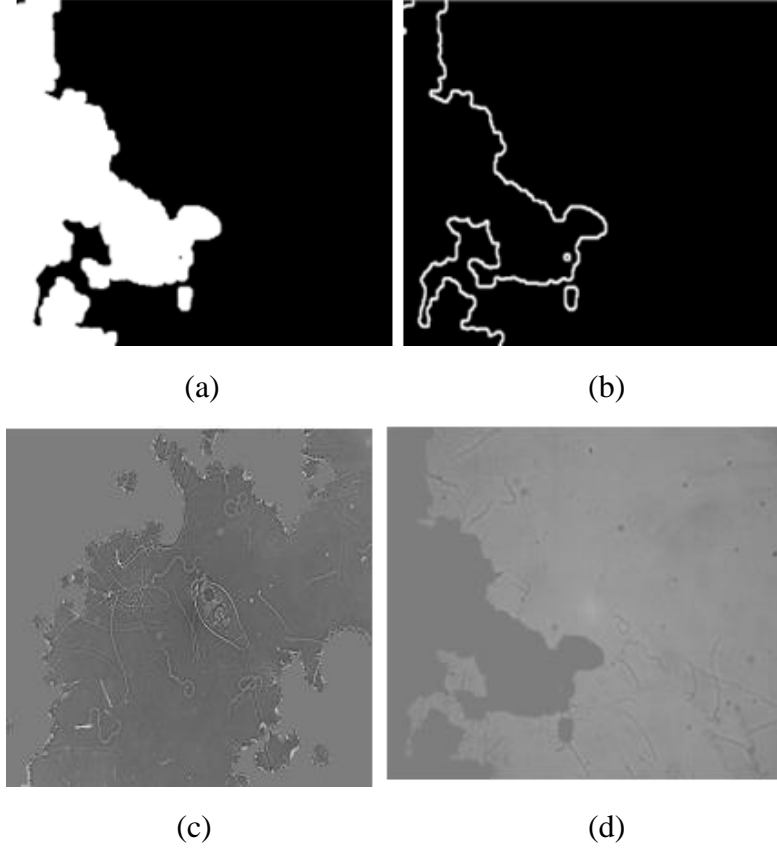
**Şekil 4.** Flok bölgesinin elde edilmesi (a) gri skalalı görüntü, (b) HSA işleminden sonra elde edilen görüntü, (c) kapama işlemi uygulanmış görüntü, (d) küçük piksellerin çıkarılması, (e) açma, genişletme ve doldurma işlemlerinin uygulanması ile elde edilen görüntü.



**Şekil 5.** Bölütlenmiş flokların gri skalada gösterimi

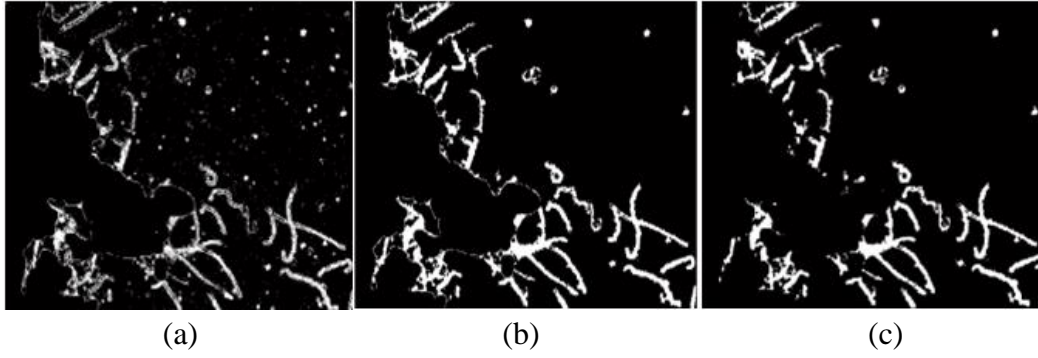
Flok ile filament bölütlenmesinde Şekil 6 (b)'de gösterilen geçiş kenar hattı ne flok nede filament yapısına dahil edilemeyeceğinden bu bölge görüntüden çıkarılmıştır. Flokların dokusal özelliklerinin daha doğru belirlenmesi için bu adım önemlidir. Bunun için Şekil 6 (e)'deki görüntüden genişleme işlemi yapılan görüntü çıkarılmıştır. Elde edilen bu görüntü, orijinal görüntüden çıkarılmıştır. Böylelikle bu kenar geçişleri görüntüden çıkarılmıştır. Şekil 6 (c) ve (d)'de sırasıyla kenar geçişleri olan görüntü ile kenar hatları çıkartılmış görüntü gösterilmiştir.





**Şekil 6.** HSA'dan sonra kenar hattının yok edilmesi, (a) bölütlenmiş flok görüntüsü, (b) çıkarılacak sınır bölge, (c) kenar hatları yok edilmemiş görüntü, (d) kenar hatları çıkartılmış görüntü

**Filament Bölütleme:** Çamur içinde serbest halde bulunan filamentlerin miktarı çamurun özelliği açısından önemlidir. Aktif çamur görüntülerinde filament ve floklar iç içe yer alabilmektedir. Bu yüzden görüntüde serbest halde ve floklarla teması bulunan filamentlerin görüntüden ayrıştırılması gerekmektedir. Küçük ve belirsiz filamentleri de tespit edebilmek için HSA'nın hesaplanan iterasyon değeri %10 oranında artırılmıştır. Sonrasında HSA işlemi Şekil 7 (d)'deki görüntüye (yani floklardan uzaklaştırılmış gri-skalalı görüntüye) uygulanmıştır (Şekil 7 (a)). Bu işlemden sonra gürültü olarak tanımlanabilecek ve filamentlere ait olmayan önemsiz pikseller görüntüden çıkarılmıştır. Flokların bölütlenmesinde olduğu gibi filamentlerin bölütlenmesinde de kenar geçişleri görüntülerden çıkarılmıştır. Şekil 7 (b)'de küçük piksellerden temizlenen görüntü, (c)'de kenar hattının çıkarıldığı görüntü ve (d)'de elde edilen filamentler gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Filament bölütleme, (a) flokların çıkarıldığı görüntü, (b) küçük alanların silindiği görüntü ve (c) flok kenar hat çizgilerinin çıkarıldığı görüntü

### 3. Deneysel Sonuçlar

HSA bölütleme sonucu elde edilen görüntü, kenar çıkarma ve tophat dönüşümü uygulanan görüntüler ile piksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, görüntüye ön işlem veya iyileştirme yöntemleri uygulanmamıştır. Bu ölçüm, HSA işleminden sonraki morfolojik işlemler uygulanmadan gerçekleştirilmiştir. Gerçekte flok üzerinde olan ve tespit sonucunda da flok olarak işaretlenen piksellerin sayısı doğru pozitif (dp), gerçekte arkaplana ait olan ve tespit sonucunda da arkaplan olarak işaretlenmiş piksel sayısı doğru negatif (dn), flok olanı arkaplan olarak veya arkaplanı flok olarak belirlenen piksellerin sayısı yanlış (y) olarak hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1:** Yöntemlerin piksel olarak karşılaştırılması

Yöntem	Doğru piksel sayısı		Yanlış piksel sayısı
	dp	dn	y
Kenar bulma	8552	263274	43102
Tophat dönüşümü	1107	270172	43649
HSA	10708	260709	43511

Sonuç olarak Tablo 1’den de görüldüğü gibi, flokların tespiti için HSA yönteminin kullanılmasının diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Her üç yöntemde toplam doğru piksel ve yanlış piksel sayıları birbirlerine yakın olmasına rağmen, doğru piksel sayısı (dp) HSA yönteminde daha fazladır. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için flokların belirginleştirilmesi ve ön işleme yöntemleri geliştirilebilir.

Aktif çamur prosesindeki anormalliklerin belirlenmesinde, aktif çamur görüntülerinin içinde mevcut olan filament ve flok yapıların ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Sonuç olarak önerilen yöntem ile flok ve filamentler ayrıştırılmıştır. Her bir görüntünün sahip olduğu farklı özellikler sebebi ile değişen iterasyon sayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla flok ve filamentlerinin bölütlenmesi işleminde, görüntünün tipine ve çalışmanın amacına uygun bir bölütleme sağlanmıştır. Böylece kullanılan yöntemle aktif çamur yapısını yani flok ve

filamentlerin yapılarını ayrıntılı teşhisini ve güvenilir bir şekilde karakterize etmeyi sağlayacaktır.

#### 4. Kaynaklar

- Amaral A. L., and Ferreira E. C., 2005, Activated sludge monitoring of a wastewater treatment plant using image analysis and partial least squares regression, *Analytica Chimica Acta* 544.1: 246-253.
- Banadda E. N., Smets I. Y., Jenne R., Van Impe J. F., 2005, Predicting the onset of filamentous bulking in biological wastewater treatment systems by exploiting image analysis information, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 27:339-348.
- Boztoprak H., Özbay Y., A new method for segmentation of microscopic images on activated sludge, *Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, DOI: 10.3906/elk-1307-9.
- Boztoprak H., Özbay Y., Güçlü D., Küçükhemek M., 2010, Determination of activated sludge floc characteristics using image processing, *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, 26-28 October 2010, Konya.
- Chua L. O., Yang L., 1988a, Cellular neural networks: Theory, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 35, 1257-1272.
- Ernst B., Naser S., O'Brien E., Hoeger S. J., Dietrich D. R., 2006, Determination of the filamentous cyanobacteria *Planktothrix rubescens* in environmental water samples using an image processing system, *Harmful Algae*, 5, 281-289.
- Grijspeerdt K., Verstraete W., 1997, Image analysis to estimate the settleability and concentration of activated sludge, *Wat. Res.*, 31(5), 1126-1134.
- Haliki A., Özdemir G., Uzel A., 2004, Aktif çamur sistemlerinde sorun yaratan filamentli mikroorganizmaların izolasyonu ve kontrol stratejileri üzerinde bir araştırma, *E. Ü. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences Issue*, (3-4), 275-207.
- Heine, W., et al., 2002, Early warning-system for operation-failures in biological stages of WWTPs by on-line image analysis, *Water Science & Technology*, 46.4-5: 117-124.
- Jenkins D., Richard M.G., Daigger G. T., 1993, *Manuel On The Causes And Control Of Activated Sludge Bulking And Foaming*, 2.nd Edition, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- Kilander J., Blomström S., and Rasmuson A., 2006, Spatial and temporal evolution of floc size distribution in a stirred square tank investigated using PIV and image analysis, *Chemical Engineering Science* 61.23: 7651-7667.
- Liwarska E. B., 2005, Application of image analysis techniques in activated sludge wastewater treatment processes, *Biotechnology Letters* 27, 1427-1433.
- Liwarska-Bizukojs E., & Bizukojs M., 2006, Effect of selected anionic surfactants on activated sludge flocs, *Enzyme And Microbial Technology*, 39(4), 660-668.
- Liwarska-Bizukojs E., Bizukojs M., 2005, Digital image analysis to estimate the influence of sodium dodecyl sulphate on activated sludge flocs, *Process Biochemistry*, 40(6), 2067-2072.
- Lopez C., Pons M. N., & Morgenroth E., 2005, Evaluation of microscopic techniques (epifluorescence microscopy, CLSM, TPE-LSM) as a basis for the quantitative image analysis of activated sludge, *Water research*, 39(2), 456-468.

- Mesquita D. P., Amaral A. L., Ferreira E. C., 2011, Characterization of activated sludge abnormalities by image analysis and chemometric techniques, *Analytica Chimica Acta* 2011, 705, 235-242.
- Mesquita D. P., Amaral A. L., Ferreira E. C., & Coelho M. A., 2008, Study of saline wastewater influence on activated sludge flocs through automated image analysis. *Journal of Chemical Technology And Biotechnology*, 84(4), 554-560.
- Mesquita D. P., Dias O., Amaral A. L., Ferreira E. C., 2009, Monitoring of activated sludge settling ability through image analysis: validation on full-scale wastewater treatment plants, *Bioprocess Biosyst Eng.*, 32, 361–367.
- Motta M. L. P. Amaral C., 2001, Characterisation of activated sludge by automated image analysis: validation on full-scale plants, *IFAC Computer Applications in Biotechnology*, Québec City-Canada.
- Nisar H., Yong L. X., Ho Y. K., Voon Y. V., Siang S. C., 2012, Application of imaging techniques for monitoring flocs in activated sludge, *International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*, 27-28 February, Penang-Malaysia.
- Övez S., 2010, Biyolojik atıksu arıtma tesisleri: kaçınılmaz sonuç çamur kabarma ve köpük problemi, *İTÜ XII. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 16-18 Haziran, İstanbul.
- Perez Y. G., Leite S. G. F., Coelho M. A. Z., 2006, Activated sludge morphology characterization through an image analysis procedure, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 23.3 319-330.
- Rika J., Ephraim N. B., Ilse S., Jeroen D., and Jan V. I., 2007, Detection of filamentous bulking problems: developing an image analysis system for sludge composition monitoring, *Microscopy and Microanalysis*, 13, 36–41.
- Sevgen S., 2009, Hücresel sinir ağları için kararlı şablon tasarımı ve görüntü işleme uygulamaları, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, Doktora Tezi, *Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- Sezgin, M., Jenkins, D., & Parker, D. S., 1978, A unified theory of filamentous activated sludge bulking, *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 362-381.