

ATIK KAĞIT KULLANAN KAĞIT-KARTON FABRİKALARINDA ORTAYA ÇIKAN MİKROBİYOLOJİK SORUNLAR

Sami İMAMOĞLU

KAÜ Artvin Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, ARTVİN
imamoglusami@gmail.com

Celil ATİK

İÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
atikc@istanbul.edu.tr

Arif KARADEMİR

KSÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, K. MARAŞ
arifkarademir@ksu.edu.tr

Özet: Atık kağıtlardan elde edilen sekonder lifler, bir yandan kağıt tüketiminin hızla artması diğer yandan da sınırlı orman kaynaklarının giderek azalması ve çevresel baskıların etkisiyle oldukça önemli hale gelmiştir. Günümüz modern kağıt-karton endüstrisi hammadde ihtiyacını büyük ölçüde atık kağıt kullanarak sağlamaya çalışmaktadır. Atık kağıtların değerlendirilmesi ile elde edilen sayısız avantaja rağmen sekonder liflerin drenajlarının düşük olması, yabancı maddeler içermesi ve her bir dönüşüm sonrası dirençlerinin azalması gibi nedenlerle kağıt üretimi sırasında problemler oluşmaktadır. Diğer bir problem kaynağı ise üretim aşamasında gelişen mikroorganizmalardır. Sekonder lif kullanımının yanında özellikle son yıllarda kapalı devre proses su kullanımı ve nötr/alkali üretim sistemine geçilmesi ile mikroorganizmaların oluşturduğu problemlerde artış kaydedilmiştir.

Mikroorganizmalar, üretim aşamasında kağıt safihası üzerinde lekeler ve/veya delikçiklerin oluşmasına, rahatsız edici kokuların ortama yayılmasına, makine parçalarının korozyona uğramasına, kağıt kopmaları ve parlaklık düşmelerine, ilave edilen kimyasal maddelerin etkilerinin azalmasına ve iletim borularının tıkanmasına neden olmak suretiyle sonuçta düşük kaliteli kağıt üretimi, kağıt makinesi eleğinin ömrünün kısalması, düşük üretim hızı ve buna bağlı olarak da üretimde azalma gibi yüksek maliyetlere yol açacak zararlar oluşturmaktadırlar. Büyük maddi kayıplara neden olan bu mikroorganizmaları kontrol altında tutabilmek ancak, problemin doğru olarak saptanması ve bu probleme en uygun çözümlerin bulunarak uygulanması ile gerçekleştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Kağıt-karton endüstrisi, sekonder lif, mikroorganizmalar, şlaym, biyosit

MICROBIAL PROBLEMS IN PAPER AND PAPERBOARD MILLS USING RECOVERED PAPER AS RAW MATERIAL

Abstract: Due to the decreasing limited forest resources, the increasing paper consumption and the pressure from the environmental movements, the recycled fibre has become increasingly important. Today's modern paper and paperboard industry is the exclusive user of recycled fibre as a raw material. On the other hand, the recycled fibre inevitably presents a number of new challenges to the paper industry, as the recycled fibres are drained more slowly, often contaminated with other materials and fibre strength is diminished with the recycling number. Microbial growth is another common problem in the papermaking system. Besides the use of recycled fibre in paper and paperboard mills, the increased closure of the water and the conversion to neutral/alkaline systems exacerbate microbiological problems and decrease mill performances.

Problems caused by micro organisms that are typically encountered in paper making systems include slime spots and holes, offensive odours, corrosion, paper breaks, brightness loss, additive spoilage, and shower and stock line plugging. These problems are costly because they lead to poor runnability, low production rates, off-quality paper, and even shortened equipment life due to accelerated corrosion rates. Microbiological growth control has therefore become more and more important within the paper industry. The proper control of microbiological growth involves properly identifying the problem and finding the best solution.

Key Words: Paper and paperboard industry, recycled fibre, micro-organisms, slime, biocide

1. GİRİŞ

Dünyanın en gelişmiş teknolojilerinden biri olan kağıt endüstrisinde lifsel hammadde kaynağı olarak atık kağıtların kullanılması oldukça eski yıllara dayanmakla

birlikte özellikle son yıllarda miktar ve oran bakımından ciddi artışlar görülmüştür. Bunun altında yatan sebepleri şu şekilde sıralamak mümkündür (1);

- Orman kaynaklarının giderek artan hammadde talebini karşılayamaz hale gelmesi,
- Kentlerde yok edilmesi büyük sorun oluşturan katı atık yükünün giderek artması,
- Atık kağıt işleme teknolojilerindeki hızlı gelişimler,
- Tüketicilerin çevre bilinçlerinin artması,
- Dönüşümlü kağıt kullanımına yönelik yasal zorunlulukların getirilmesi,
- Geniş çaplı geri dönüşüm projelerinin ekonomik açıdan cazip hale gelmesi.

Özetle geri kazanılan atık kağıtlar, kağıt-karton endüstrisi için düşük maliyetli bir lif kaynağı olmasının yanında, dolaylı yoldan orman kaynaklarının korunmasına, çevre kirliliğinin azalmasına ve su-enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır.

Atık kağıtlardan elde edilen sekonder liflerin kağıt endüstrisinde kullanılması sayısız avantajlar sağlamasına rağmen bir takım sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Atık kağıtlardan lifsel hammadde elde ederek primer liflerin yerine kullanılması zannedildiğinin aksine çok kolay bir işlem değildir. Pratik açıdan bakıldığında bu liflerin elde edilmesi, işlenmesi ve kullanımı konusunda bir çok engel ortaya çıkmaktadır. Bu engelleri çevresel, ekonomik ve teknik olarak sınıflandırmak mümkündür (2).

Kağıt üretiminde lifsel hammadde olarak primer liflerin yerine atık kağıtlardan elde edilen sekonder liflerin kullanılması durumunda belirgin olarak ortaya çıkan farklılıkları şu şekilde sıralamak mümkündür (3);

- Liflerin fiziksel dirençleri her bir dönüşüm sonucunda azalmaktadır,
- Sekonder liflerin drenajı yavaş olduğundan yaş formasyonda sorun yaratmaktadır,
- Sekonder lifler farklı yapıdaki yabancı maddelerle karışım halindedir,
- Bu lifler mikroorganizmaların gelişimi için uygun besi ortamı oluştururlar.

Teknik açıdan bakıldığında, yani atık kağıtların toplanarak kağıt fabrikasına getirilmesi ve burada işlenerek kağıt-karton elde edilmesi sürecinde problem kaynağı olarak ortaya çıkan en önemli konu toplanan atık kağıtların bünyelerinde bulundurdıkları lif dışı maddeler ve heterojen yapılarıdır. Atık kağıdın hangi kaynaktan geldiğine ve nerelerde kullanıldığına bağlı olarak değişiklik gösterebilen yabancı maddeler, özellikle hamur hazırlama ve kağıt üretim aşamalarında ciddi problemlere sebep olmaktadır. Yaşanan en önemli sorunlardan birisi, farklı kaynaklardan sisteme giren ve proses suyunda gelişen mikroorganizmaların üretim hattında jelimsi bir kitle (şlaym) oluşturmalarıdır. Özellikle son yıllarda kağıt üretiminde kapalı devre proses su sistemi uygulanması ve asidik yapıdan nötr/alkali üretim sistemine geçilmesi ile beraber mikroorganizmaların oluşturduğu problemlerde artış kaydedilmiştir.

MİKROORGANİZMA GELİŞİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kağıt endüstrisinde problem oluşturan mikroorganizmaları üç grup altında incelemek mümkündür. Bunlar aerobik ve anaerobik karakterli bakteri türleri, küf ve mantarlar, son olarak ta alglerdir. Çok farklı ortamlarda yaşamlarını sürdürebilen bu mikroorganizmalardan kağıt endüstrisi için en tehlikeli olanları bakteri ve mantarlardır. Zaman zaman etkin olabilen algler ise ışığa olan ihtiyaçlarından dolayı daha çok fabrika için gerekli olan taze su içerisinde yaşamlarını sürdürerek problemlere sebep olurlar.

Hamur hazırlama ve kağıt üretim hattında mikroorganizmaların gelişebilmesi, uygun şartların yerine gelmesi ile mümkün olur. Bunlardan en önemlileri; beslenme kaynağı, rutubet, sıcaklık, ışık, oksijen ve ortamın kimyasal yapısıdır. Mikroorganizmaların büyük bir kısmı için tipik bir kağıt fabrikası besin ihtiyaçlarını rahatlıkla sağlayabilecek niteliktedir. Kağıt üretimi için gerekli olan temel hammaddeler içerdikleri selüloz, hemiselüloz, suda çözünen şekerler, nişasta, ekstraktifler gibi maddeler sayesinde doğal bir beslenme ortamı sağlarlar. Diğer yandan, atık kağıtlar da, gıda artıkları, nişasta, kuşe malzemesi gibi gerekli besi maddelerini içermeleri dolayısıyla toplama, depolama, hamur hazırlama ve kağıt üretimi aşamalarında mikroorganizmaların gelişmeleri için uygun bir ortam oluştururlar (3).

Mikroorganizmalar için önemli derecede besin kaynağı oluşturacak maddelerle karışmış olan atık kağıtların, özellikle kapalı devre su sisteminin uygulandığı kağıt fabrikalarında kullanılması, mikroorganizmaların kolayca gelişip çoğalmalarına ve bunun sonucunda da hamur iletim ve depolama hatları üzerinde biyo-film tabakası oluşmasına ve tıkanmalara neden olur (4).

Tüm mikroorganizmalar yüksek rutubetli ortamlarda gelişirler. Atık kağıtların toplanması, depolanması ve fabrika içerisinde işlenmeleri sırasında bu ortam rahatlıkla oluşabilmektedir. Özellikle atık kağıtların fabrika açık alanlarında uzun süreli depolanması sırasında yağmurunda etkisi ile mikroorganizmalar için gerekli rutubetli ortam rahatlıkla oluşmaktadır. Kağıt balyalarındaki rutubet oranları % 12 ile % 20 arasında değişmektedir (5).

Rutubet miktarı ve depolama süresinin mikroorganizmaların gelişmesine yaptığı etkiyi görmek amacıyla yapılan bir çalışmada, eski oluklu mukavva kağıtları ıslatılarak % 25 rutubet oranına getirilmiş, ardından da birer hafta aralıklarla örnekler alınarak bir gram kağıt örneği içerisindeki mantar kolonileri sayılmıştır. Sonuç olarak başlangıçta alınan örnekte 1 gram'da 3 000 mantar kolonisi bulunurken 7 hafta sonrasında alınan örneklerdeki koloni sayısı 780 000 olarak tespit edilmiştir (3).

Diğer bilinmesi gereken önemli konu ise bakteri ve mantarların farklı rutubet istekleridir. Bakteriler genellikle tamamen yaş ortamda gelişirken, mantarlar tamamen yaş olmayan fakat rutubetli ortamlarda daha iyi gelişirler. Dolayısı ile mantarlar için atık kağıtların rutubetli olarak açık havada depolanması oldukça elverişli bir ortam oluştururken, bakteriler için ise tamamen sulu ortamda gerçekleştirilen hamur hazırlama ve kağıt üretim hatları uygun ortamlar hazırlamaktadır.

Diğer yandan mikroorganizmaların gelişmesi belli sıcaklık sınırlarına bağlıdır. Her mantar ve bakteri türü için gelişmenin optimum olduğu bir sıcaklık değeri vardır. Primer lif elde edilme koşullarında örneğin kraft pişirmelerinde yüksek sıcaklık ve kimyasal dengenin 10 veya daha yukarı pH düzeyinde olması nedeniyle daha önceden sisteme karışmış mikroorganizmalar ya tamamen yok olurlar ya da aktivitelerini durdurarak uygun ortamın oluşmasını beklerler. Termo mekanik hamur üretiminde ise yüksek sıcaklık ve çok düşük pH düzeyi ile asidik bir ortam sayesinde mikrobiyolojik faaliyetler sınırlandırılır. Ancak, sekonder lif hazırlanması aşamasında ortam sıcaklığı ve kimyasal denge bir çok mikroorganizma için ideal koşulları oluşturmaktadır. Genellikle hamurlaştırma ve diğer takip eden sekonder lif hazırlama işlemlerinde kullanılan suyun sıcaklığı 30-40 °C civarında ve pH ise 5-8 civarında seyretmektedir (5). Bir çok bakteri bu gibi ılık koşullarda ve 6 - 8.5 pH seviyelerinde rahatlıkla gelişirken 60 °C'nin üzerinde gelişmemektedir. Mantarlar için ideal gelişme koşulları 20-30 °C sıcaklık ve 5 civarındaki pH seviyesidir (6).

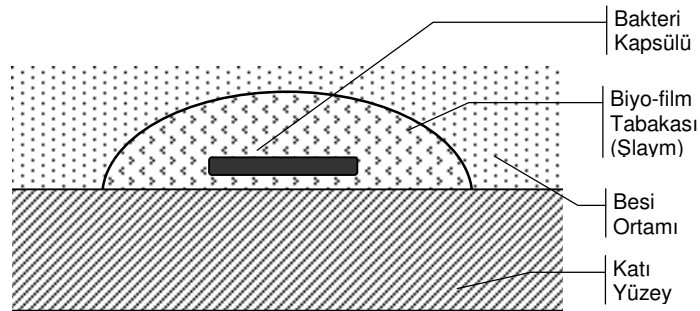
Alglerin aksine mantar ve bakteriler gelişebilmeleri için ışığa ihtiyaç duymazlar. Bu tip mikroorganizmalarda doğrudan gelen güneş ışığı gelişmeyi yavaşlatır ve kurutma tehlikesi yaratır. Ortamdaki oksijen ise mikroorganizmaların gelişmelerine etki eden diğer bir faktördür. Mantarlar aerob organizmalar olduğundan solunumları için ortamda yeteri kadar oksijenin bulunması gereklidir. Diğer yandan her mantar türünün oksijen eksikliğine karşı gösterdiği direncin farklı olduğu bilinmektedir (7). Mantar ve aerob yapıdaki bakteriler serbest oksijene ihtiyaç duyarlar. Sudaki çözünür oksijen, elek altı suyunda kaskatlanma sırasında suda tutunan hava, hamur ile birlikte gelen hava ve karışımlar sırasında ortama giren hava bu ihtiyacı karşılar. İyi karıştırma sağlanamayan hamur tanklarında, hamur biriktirilen donanımların duvarlarında ve mikrobiyolojik olmayan birikintilerin altında oksijen yönünden bir yetersizlik söz konusudur. Bu ortamlarda ise anoerobik yapıdaki bakteriler rahatlıkla gelişebilir (8).

MİKROORGANİZMALARIN ARTMASIYLA ORTAYA ÇIKAN SORUNLAR

Lif hammaddesi olarak atık kağıt kullanan kağıt-karton fabrikalarında, lifsel yapılar yanında değişik oran ve çeşitlerde daha birçok yabancı madde hammadde hazırlama sistemine girmekte ve bir bütün olarak kağıt-karton fabrikasının değişik üretim aşamalarında farklı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle hamur hazırlama ünitelerinde iyi bir temizleme işleminin yapılmadığı ve gerekli önlemlerin alınmadığı durumlarda kir, yapışkan, zift ve mikroorganizmaların yarattığı biyolojik film tabakası kalıntılarının (şlaym) oluşması ve üretimi olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır.

Şlaym oluşumunu sağlayan mikroorganizmalar değişik bakteri veya mantar türleridir. Bazı durumlarda mantar bazı durumlarda ise bakteri dominant olabilir. Mikroorganizmanın türü mikroskopik inceleme ve standart mikrobiyolojik teknikler ile tespit edilebilmektedir (9).

Mikroorganizmalar, gerek hamur hazırlama gerekse kağıt üretim hattındaki makine elamanlarının yüzeylerine yapışarak buralarda diğer lifsel ve anorganik maddelerle birlikte bir film tabakası oluştururlar. Oluşan bu film tabakasını yok etmek iki açıdan oldukça güçtür. Birincisi, bu tabakalar makine elamanlarının atıl kısımlarında oluşarak kuvvetli şekilde yapışmaktadırlar. İkincisi ise, bu film tabakalarının dış kısımlarında koruyucu bir yapı bulunur ve bu nedenle kullanılan sıradan bir biyositin tabakanın içerisine nüfuz etmesi oldukça zordur. Şekil 1'de makine elemanı üzerinde bulunan biyo-film tabakası şematik olarak gösterilmiştir. Bu tabaka, uygun şartları bulduğu müddetçe gelişerek üretim hattına çeşitli zararlar verecektir.



Şekil 1. Makine elemanı üzerinde oluşmuş biyo-film tabakasının şematik görünüşü

Mikroorganizmaların kağıt üretim hattında ortaya çıkardığı problemleri dört başlık altında incelemek mümkündür.

3.1. Üretim Hızındaki Yavaşlama ve Üretim Miktarının Azalması

Üretim hattı üzerinde mikroorganizmaların oluşturdukları biyo-film tabakaları, uygun şartların sağlanmasıyla birlikte yavaş yavaş gelişerek hacimlerini artırır, ardında da besin yetersizliği ve ağırlıklarını taşıyamamaları nedeniyle belirli aralıklarla koparak henüz formasyonu tamamlanmış kağıt safihasına ve diğer donanımlar üzerine yapışırlar (10). Kağıt safihası üzerinde heterojen bir yapının oluşmasıyla birlikte, olası gerilmeler sonucu kopmalar meydana gelir. Bunun sonucu olarak da üretim hattının sık sık durdurulması-tekrar başlatılması ve elek altına verilen kağıt safihalarının tekrar hamurlaştırıcıya gönderilmesi gibi üretim hızını ve miktarını olumsuz etkileyen durumlar oluşmaktadır.

Diğer yandan mikroorganizmaların gelişmesi sonucu formasyon elekleri ve keçelerin tıkanması, stok transferinde kullanılan pompa ve iletim borularının etkin çalışamaması, emici kasalar, presler, kurutma keçeleri ve diğer makine donanımlarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirememesi gibi durumlarla karşılaşmaktadır. Bu problemleri aşmak için periyodik olarak yoğun temizleme programlarının uygulanması veya işlevini tamamen yitirmiş parçaların yenileriyle değiştirilmesi gerekir. Yapılan bu temizlik, parça değiştirme ve bakım işlemleri sırasında üretimin durdurulması çoğu zaman zorunlu olduğu gibi bakım sonrası bazı makine elamanlarının bakım öncesi ayarlarına kavuşturulması da zaman almaktadır (11).

3.2. Makine Elamanlarının Performans Kaybı

Yaş parti kısmındaki formasyon eleklerinin, vakum kasaları ve diğer donanımların mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyo-film tabakaları ve mantar hüfleri ile tıkanması sonucu üretim hızı yavaşlar. Özellikle, ıslak bölüm donanımlarında meydana gelen bu performans düşüklüğü sonucu, kağıtta formasyon bozukluğu ve heterojenlik oluşmakta, sonraki aşama olan pres kısmına aktarılma esnasında kopmalar gerçekleşmektedir. Diğer yandan, yaş presleme aşamasında yine mikroorganizmaların oluşturduğu problemlerden dolayı pres ve keçe yüzeylerinde meydana gelen kirlilikten dolayı su uzaklaştırma işlemi normalden daha düşük seviyede gerçekleştirilmekte ve bunun sonucunda da kurutma partisinde daha yüksek ısı kullanılmak zorunda kalınmaktadır.

Biyo-film tabakasının oluşmasıyla birlikte bakteri kapsülü etrafında koruyucu bir katman oluşur ve bu katman sayesinde oksijenin bakteri kapsülüne erişmesi engellenir. Bu durumda anaerobik bir sistem oluşur ve bu bakterilerin metabolizması sonucu asetik asit, bütirik asit, laktik asit gibi atık ürünler ortaya çıkar. Bu yan ürünler özellikle metal yüzeylerde korozyona ve kötü kokuların oluşmasına sebep olurlar. Diğer yandan sülfat indirgeyen bakteri (sülfobakteri) türleri, hidrojen sülfür üreterek beton ünitelerin zarar görmesine ve metal aksamlar üzerinde bölgesel korozyonların oluşmasına sebep olurlar. Diğer yandan nitratlayıcı bakteri türleri amonyak karışımlarından nitrik asit oluşturarak ve demir birikimi oluşturan bakteriler (siderobakteri) ise demir-II iyonlarını yükseltgeyerek çökmeler oluşturup makine elamanlarına ciddi derecede zarar verirler. Korozyona uğramış veya zarar görmüş makine donanımlarının yüzey düzgünlüğünün iyileştirilmesi veya değiştirilmesi için bakım işlemlerin uygulanmasına ihtiyaç duyulur.

3.3. Üretilen Kağıt Kalitesinin Düşmesi

Üretilen kağıt kalitesi açısından mikroorganizmaların zararları ele alınacak olur ise, en önemli problem, mikroorganizmalar tarafından oluşturulan ve belli bir hacme erişen biyo-film tabakasının koparak formasyonu henüz oluşmuş veya oluşmakta olan kağıt safihası üzerine yapışmasıdır. Kağıt safihası üzerinde heterojen bir yapının oluşması sonucu benekli bir görünüm veya delikçikli bir kağıt oluşmaktadır. Kağıt ürünleri için en önemli kriterlerden olan fiziksel dayanımını bu heterojen yapı ciddi şekilde azalttığı gibi parlaklık ve beyazlık gibi optik niteliklerde de düşüş kaçınılmaz olmaktadır.

Depolarda uzun süre bekletilen atık kağıtlar eğer gerekli önlemler alınmaz ise mikroorganizmalar tarafından saldırıya uğrayarak kağıdın fiziksel, kimyasal ve optik niteliklerinin düşmesine sebep olacak, bunun sonucunda da elde edilecek kağıdın nitelikleri zarar görecektir.

Yaş formasyon ve pres aşamalarında yeterli suyun uzaklaştırılamaması yüzünden kurutma bölümünde rutubet homojenliğini sağlamak için yüksek derecede kurutma zorunlu hale gelmekte, bunun sonucunda da gereğinden fazla kurumuş kağıt elde edilmektedir (12).

Mikroorganizmaların neden olduğu istenmeyen koku ve kirlerin üretilen kağıt üzerinde bulunması müşteri taleplerinin karşılanmasında sorunlar yaratabilir. Özellikle, gıda ambalajlanmasında kullanılacak kağıt ürünlerinde koku ve hijyen oldukça önemli bir konudur. Çünkü gıdaların doğrudan çeşitli mikroorganizmaları içeren veya etkilerini taşıyan kağıt ambalaj yüzeyi ile temas etmesi durumunda gıdanın bozulması ve/veya zehirlenmeler meydana gelebilir. Bu yüzden, bir çok Avrupa ülkesinde atık kağıttan elde edilen ambalaj ile direk olarak temas eden gıdaların taşınmasına yasal engeller getirilmiştir (13). Kağıt üretim prosesinin, özellikle kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklık sayesinde, atık kağıt hamurundan yapılan ürünlerdeki mikroorganizma sayısını ciddi oranda düşürdüğü, ancak bunun yine de primer liflerden elde edilen kağıtlardaki değerlerle karşılaştırılabilecek bir düzeye ulaşamadığı bildirilmiştir. Örneğin, atık kağıt hamurunda 10^8 - 10^{10} cfu/g, kartonda 10^3 - 10^6 cfu/g dominant aerobik bakteri kolonisi bulunurken, primer lifli kağıtlarda bakteriye rastlanmamıştır (14).

3.4. Isı, Kimyasal Madde, Dolgu Maddesi, Lif ve Su Kaybı

Hamur hazırlama ve kağıt üretim hattında mikroorganizmalardan kaynaklanan çeşitli problemler nedeniyle ciddi derecede ısı, kimyasal madde, dolgu maddesi, lif ve su kayıpları meydana gelmektedir. Sık sık yaşanan kağıt kopmaları ile elek altına büyük miktarlarda lif karışmakta, bunların bir kısmı tekrar kullanılsa da, bir kısmı atık su ile birlikte kanala verilmektedir.

Kapalı devre su sistemi kullanılması durumunda ise proses suyuna karışan fazla miktardaki lif ve dolgu maddelerinin geri kazanılması ve suyun tekrar kullanılabilir hale getirilebilmesi ilave masraflara yol açmaktadır. Makine elamanları üzerinde mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyo-film veya hüf yapısındaki kalıntıların uzaklaştırılması için ilave temizleyici kimyasal maddeler kullanılmakta, fıskiyelerden daha güçlü ve daha fazla su püskürtülmekte ve mekanik temizleme için zaman ve emek kaybı ortaya çıkmaktadır.

Özellikle kimyasal katkı maddelerinin ilave edildiği üretimlerde mikroorganizmalar çok uygun bir gelişme ortamı bulmaktadır. Buralarda gelişen mikroorganizmalar ilave edilen kimyasal maddenin yapısını bozarak etkisiz hale getirirler. Örneğin, nişasta mikroorganizmalar için ideal besin kaynağıdır. Mikroorganizmalar bu noktalarda nişastanın parçalanmasını sağlayarak viskozitesinin düşmesine ve ortamın pH seviyesinin bozulmasına sebep olurlar (10).

Islak bölümde yeteri kadar suyu uzaklaştırılmayan kağıt safihasının uygun rutubete getirilebilmesi için kurutma bölümünde daha fazla ısı kullanılmaktadır. Yaş formasyon aşamasında kullanılan eleklerin normalden daha fazla tıkanması sebebiyle pres kısmına aktarma aşamasında kopmalar yaşanır. Aktarma işleminin problemsiz yapılabilmesi için bu kısımda daha fazla suyun emilmesi vakum kasalarının emiş gücünü artırarak sağlanacağından bu durumda da ilave enerji masrafları ortaya çıkmaktadır.

4. MİKROBİYOLOJİK FAALİYETLERİN KONTROL EDİLMESİ

Atık kağıt işleyen fabrika içerisinde gelişen ve çeşitli şekillerde problemler oluşturan mikroorganizmalara karşı mücadele, belirlenen bir program dahilinde uygulanmalıdır. Mikroorganizmaların nerelerden kaynaklandıklarını, hangi noktalarda ve ne seviyelerde etkili olduklarını, türünü ve buna bağlı olarak da gelişme ortamlarını belirleme işlemleri en önemli konulardır. Atık kağıdın fabrikaya girişi ve depolanmasından başlayarak hamur hazırlama, temizlik ve son olarak kağıt üretim hattı üzerinde mikroorganizmaların faaliyetleri planlı şekilde takip edilmelidir.

Fabrika tarafından satın alınan veya kendi organizasyonları ile toplanarak depoya getirilen atık kağıdın özellikleri, deponun fiziksel şartları ve burada saklama süresi doğrudan mikroorganizmaların gelişmesine etki eden faktörlerdir. Atık kağıtların “vahşi toplama” metodu olarak bilinen evsel atıklar içerisinden seçilerek toplanması durumunda kağıtlara bulaşan organik maddeler, mikroorganizmalar için uygun besin kaynağını oluşturmuş olur. Diğer yandan evsel atıklarda bulunan mikroorganizmalar doğrudan depoya taşınmış olur. Bu yüzden toplama işleminin modern yöntemlerle, temiz toplama ünitelerinde ve cinslerine ayrılarak yapılması şarttır. Deponun fiziksel şartları da örneğin açık veya kapalı oluşu, temizlik işlemlerinin yapılıp yapılmadığı gibi konularda istenmeyen organizmaların üremesini ve gelişimini etkilemektedir. Düzgün balyalar halinde ve “ilk giren ilk çıkar” (FIFO) prensibine dayalı olarak yürütülen depolama sistemi önemlidir. Modern depolarda periyodik depo temizliği pnömatik veya vakumlu sistemlerle yapılmakta ve yangın tehlikesi oluşmaması için otomatik fışkiyeler hazır tutulmaktadır (15). Depoya getirilen kağıtların kuru olması, temiz bir ortamda ve ıslanmadan muhafaza edilmesi, kapalı depolamada havalandırma işleminin uygun şekilde yapılması ve uzun süre bekletilmeden işlenmesi dikkate alınması gereken önemli konulardır. Kısaca, depolama sırasında mikroorganizmalar için uygun fiziksel ve kimyasal şartların oluşturulmaması ve yeterli ilk önlemlerin burada alınması yoluyla, üretim hattındaki mikrobiyolojik faaliyetlerin önemli derecede engelleneceği kesindir.

Hamur hazırlama ve kağıt üretim hattında kullanılmak üzere fabrika dışından gelen taze su mikroorganizmaların fabrika içerisine girebileceği diğer bir yoldur. Taze suyun fiziksel ve kimyasal yöntemlerle muamele görmesi olası mikroorganizmaların girişini engellemektedir. Özellikle en yaygın ve basit uygulama klorlama yoluyla taze suyun temizlenmesidir. Bu uygulamada konsantrasyon, uygulama süresi ve ortamın pH seviyesi mikroorganizmaların yok edilmesinde en önemli kriterlerdendir. Diğer yandan aktive edilmiş brom ürünleri, zehirsiz polimerler ve belirli bakteriosit ve fungisitler de taze suların temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (9).

Taze su maliyetinin yüksek olması, üretim hattında ortaya çıkan atık suyun çevresel ve ekonomik sebeplerden dolayı fabrikadan uzaklaştırılamaması veya kanalizasyona göndermeden önce belli seviyeye kadar temizleme zorunluluğu gibi faktörler kapalı devre su sisteminin kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır. Diğer yandan, kapalı devre su sisteminin uygulandığı kağıt fabrikalarında, atık suların mikroorganizmaların gelişimi için

uygun ortamlar sağladığı bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada (16) bir ton kağıt üretimi için atık su tüketiminin 9.5 m³/ton değerine ulaşınca kadar pratik olduğu, bu değerden sonra fazla miktarda şıaym, korozyon ve birikinti ortaya çıkardığı saptanmıştır. Özellikle hammadde olarak atık kağıdın kullanılması durumunda proses suyu içerisine karışan organik maddeler, kuşe kalıntıları ve diğer kırıntı lifler mikroorganizmalar için iyi bir beslenme ortamı oluştururlar. Sıcaklığın ve ortamın kimyasal dengesinin de mikroorganizmalar için uygun olduğu durumlarda ciddi problemler ortaya çıkar. Bu yüzden periyodik olarak atık su içerisindeki mikroorganizma faaliyetleri gözlenmeli ve gerektiğinde müdahale edilmelidir. Taze su girişi oranının artırılması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik temizleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve gerektiğinde uygun biyositlerin belirli noktalara uygulanması mikroorganizmaların faaliyetlerini sona erdirecektir.

Sekonder lif kullanımının kağıt endüstrisinde yoğun bir şekilde uygulanması sonucunda ortaya çıkan problemleri giderebilmek amacıyla, hamur üretim hattı ve kağıt üretim aşamalarında kullanılan makine donanımları üzerinde bir takım modifikasyonların yapılması zorunlu hale gelmiştir. Birçok araştırmacı bu amaca yönelik çalışmalar yaparken (17-20) makine elemanları ve donanımları sağlayan gelişmiş firmalar da sekonder lif işleyen fabrikalar için farklı dizaynda ve özelliklerde ürünler geliştirmektedirler. Özellikle, mikroorganizmalar veya diğer faktörlerden kaynaklanan birikintilerin yaş formasyon ve pres kısmında oluşturdukları drenaj sorununu gidermek için geliştirilen uygun formasyon elekleri, süzme elamanları, pres donanımları en önemli çözüm önerilerindendir. Bunun yanında, silindir, keçe, elek ve diğer önemli aksamlar, biyo-film tabakaları veya diğer birikintilerin yapışmasını engellemek için farklı dizaynda üretilmektedir. Su fıskiyeleleri, raspalar gibi elek, keçe ve silindirlerin sürekli olarak temizliğini sağlayan donanımlar da yine mikroorganizma faaliyetlerine izin vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

Mikroorganizmaların üretim hattına, hammadde olarak kullanılan atık kağıt veya üretim işlemleri için gerekli olan taze su ile birlikte girmelerinin sınırlandırılması ve üretim hattı üzerinde mikroorganizmaların gelişmelerini engellemek için kullanılan bütün teknolojik modifikasyonlara rağmen fabrika içerisinde bu organizmaların tamamını yok etmek mümkün değildir. Çünkü, bu mikroorganizmalar herhangi bir kaynaktan fabrika içerisine girebilmekte ve metabolizmaları gereği hızlı şekilde gelişerek yayılabilmektedirler. Bu yüzden fabrika içerisinde fiziksel ve kimyasal mücadelenin de belirli bir plan dahilinde uygulanması zorunludur.

Kağıt balyalarına, hamurlaştırıcıya girmeden önce uygulanan buhar (3), kağıtlarda dekontaminasyon sağlarken aynı zamanda kağıtların hamurlaştırmadan önce belli bir sıcaklığa erişmesini ve liflerin gevşemesini sağlamış olur.

Mürekkep giderme işleminin uygulanacağı hamurlara hidro-pulper içerisinde ilave edilen kimyasal maddeler, lif özelliklerini iyileştirmenin yanında mikroorganizmaların yok edilmesinde de rol oynarlar. Örneğin, hidro-pulperde ağartma amaçlı kullanılan hidrojen peroksit daha üretim hattının başlangıcı sayılabilecek bir noktada mikroorganizmaların yok edilmesinde etkin olabilmektedir. Ancak, ileriki aşamalarda peroksitle muamele edilmiş bu hamurun atık su ile teması sonucunda tekrar mikroorganizmalar ile karışması kaçınılmaz bir durumdur (21). Diğer yandan, son yıllarda hamur işleme kısmının son aşamasında yoğun şekilde uygulanmaya başlanan yüksek sıcaklık ve kesafette dispersiyon veya yoğurma (kneading) işlemi ile yabancı maddelerin boyutlarının küçültülerek hamur içinde homojen dağılımının sağlanması, lifler üzerindeki mürekkep kalıntılarının uzaklaştırılması, liflere rafinasyon etkisinin sağlanması, kimyasal maddenin liflerle daha iyi karışımı gibi faydaları yanında mikrobiyolojik faaliyetlerin giderilmesi de amaçlanmaktadır (22, 23). Biyositlerin kullanımını azaltmak amacıyla özellikle yüksek kesafetli dispersiyon

aşamasında 80-120 °C sıcaklığın uygulanması ile mikrobiyolojik faaliyetlerin durdurulması tercih edilen bir yöntemdir. Yüksek sıcaklığın uygulanması ve kağıt üretiminin son aşamasındaki kurutma işlemi, elde edilen kağıdın mikrobiyolojik kalitesini artırmasına rağmen bakteri sporlarının tamamen uzaklaştırılması veya yok edilmesi konusunda etkisiz kalmaktadır (24).

Hamur hazırlama ve kağıt üretim hattında mikroorganizmaların zararlarının en düşük seviyede tutulması için yapılması gereken en önemli işlerden birisi de fabrika içerisinde uygulanacak planlı temizlik işlemleridir. Her şeyden önce üretim sistemi mümkün olduğu kadar temizlenmeye uygun şekilde tasarlanmalıdır. Hamur iletim hatları tam akış olacak şekilde tasarlanmalı hamur birikintilerinin oluşması önlenmelidir. Kağıt hamuru eğer bekletilecek ise uygun koşullarda ve gerekli önlemler alınmalıdır. Hamurun 8 saatten fazla bekletilmesi durumunda bakterilerin ciddi şekilde geliştiği ve istenmeyen kokuların oluşmasına sebep olduğu tespit edilmiştir (10). Hamurun karıştırılması, havalandırılması ve koruyucu kimyasal maddelerin ilave edilmesi mikroorganizmaların gelişmesini engellemektedir. Üretimin durması durumunda tüm iletim hatları, pompalar ve hamur kasalarının temizlenmesi önemlidir. Elek altı suyunun bekletildiği tanklarda anaerobik şartların oluşmaması buna bağlı olarak da kötü koku ve korozyonun engellenmesi için koruyucu kimyasal madde kullanılmalı ve havalandırma yapılmalıdır. Kağıt üretim donanımları üzerinde oluşabilecek mikrobiyolojik birikintilerin temizlenmesi son ürün kalitesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, tüm makine elamanları sürekli kontrol altında tutulmalı ve müdahale edilmelidir. Sıyırma elamanları, su fıskiyelelerinin tasarımı herhangi bir atıl alan bırakmayacak şekilde yapılmalıdır. Oluşabilecek mikrobiyolojik birikintiler yüzeyler üzerinden mekanik olarak temizlendikten sonra sıcak kimyasal çözelti ile yüzeylerin yıkanması gerekir. Ayrıca son yıkama aşamasında ilave edilen dispersantlar ve diğer yapışmayı önleyici kimyasal maddelerin yüzeye sürülmesi makine elamanlarını uzun süre mikrobiyolojik faaliyetlerden koruyabilir.

Yukarıda önerilen tüm önlemlere rağmen yine de mikroorganizmalar yok edilemiyor veya faaliyetleri durdurulamıyor ise son çare olarak fabrika içerisinde gelişen mikroorganizmaların gelişmelerini durdurmak ve oluşturdukları birikinti veya biyo-film tabakalarını uzaklaştırmak amacıyla planlı bir kimyasal ve biyolojik mücadele programı uygulanmalıdır. Mikroorganizmaların, oksidatif etkiye sahip biyositlerle yapılarının bozulması, organik ve sentetik biyositlerle yok edilmesi ve mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyo-film tabakalarının uygun enzimler yardımıyla uzaklaştırılması uygulanan en önemli mücadele yöntemleridir. Taze su veya geri kullanılan atık suya uygulanan klor, klordioksit, brom, oksijen, hidrojen peroksit ve ozon yaygın olarak kullanılan en önemli oksidatif biyositlerdir. Yapılan bir çalışmada daha önceleri içme suyunda dezenfeksiyon amacıyla kullanılan ozon, gazete kağıdı üreten bir fabrikanın atık suyuna uygulanmış ve sonuç olarak 1 litre atık suya 32-76 mg ozon ilavesi sonucunda % 99 oranındaki aerobik bakterilerin uzaklaştırıldığı saptanmıştır (25).

Oksidatif biyositlerin uygulanması sonrasında mikroorganizmalarla mücadelenin sürdürülebilmesi için belirli süre içerisinde yeterli miktarda kalıntı kimyasal maddenin sistem içerisinde bulunmasına dikkat edilmelidir. Ancak, bu kimyasal maddelerin korozyona sebep olacak niteliklere sahip olması bir dezavantajdır. Biyositlerin kullanımı ile etkili bir kontrolün sağlanması, uygulama periyoduna, dozaja ve mikroorganizmaların direncine bağlıdır. Diğer yandan, uygulanacak biyositin dozajı ve uygulama sıklığı tamamen sistem şartlarıyla ilişkilidir. Biyositlerin mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyo-filmler içerisine nüfuz ettikleri ve bakterileri öldürdükleri bilinmektedir.

Ayrıca, biyositlerin oksidatif etkiye sahip maddelerle beraber uyumlu olacak şekilde sistem içerisinde kullanılması çok iyi sonuçların alınmasını sağlayacaktır.

Fabrika içerisinde mikroorganizmaların faaliyetlerini sona erdirmek için kullanılan biyositlerin seçimini etkileyen sayısız faktör bulunmaktadır. Mikroorganizmaların türü ve üretim hattının fizikokimyasal yapısı uygulanacak müdahale yöntemini etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada, fabrikada üretilen kağıt türüne bağlı olarak farklı biyosit türünün seçimi ve uygulanacak dozun önemi açıkça vurgulanmıştır (26). Biyosit seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli hususlar ise, ekosisteme zararlı olmaması, ucuz olması, kullanımının emniyetli olması ve makine donanımlarına zarar vermemesidir. Yapılan bir araştırmada, bromlu (Bromochlorodimethylhydantoin-BCDMH) biyositlerin klorlu biyositlere kıyasla mikroorganizmalara karşı daha iyi sonuçlar vermesinin yanında üretim hattında kullanılan poliamid, makine donanımlarının kullanım ömürlerine olumsuz yönde daha az etki yaptıkları saptanmıştır (27, 28).

Mikroorganizmalarla mücadele yöntemlerinden birisi de uygun enzimlerin sistemde kullanılmasıdır. Oldukça yeni ve modern bir yöntem olan enzim kullanımı özellikle hem alkali hem de asidik koşullarda rahatça kullanılabilmesi açısından tercih edilmektedir (6). Ancak, günümüzde geliştirilen enzimlerin oldukça pahalı olması bunların kullanımını sınırlamaktadır. Biyosit kullanımının çevresel yaptırımlar ile sınırlandırıldığı durumlarda enzim kullanımı daha uygun olmaktadır. Enzimler mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyofilm tabakası içerisindeki levan denilen polisakkarit yapıyı hidroliz yoluyla bozar ve sonuçta suda çözünen bileşiklere dönüştürür (29, 30). Bunları yaparken yan etkilerinin olmaması en önemli özelliğidir.

5. SONUÇLAR

Atık kağıtların daha etkin olarak kağıt ve karton üretiminde kullanılabilmesi için sistemde ciddi problemler oluşturan mikroorganizmaların gelişimlerinin önlenmesi gerekir. Problemin çözümünde, atık kağıtların sistematik ve bilinçli bir şekilde toplanması, depolanması ve işlenmesi ilk basamak olarak sayılabilir. Hamurlaştırma, hamur iletimi, formasyon, elekler, keçeler, silindirler ve diğer üretim aksamalarının şlaym oluşumunu engelleyecek şekillerde ve uygun malzemelerden dizayn edilmesi, düzenli kontrol ve bakım yapılmasına olanak sağlayacak biçimde tasarımının yapılmış ve çalışıyor olması da ikinci basamak sayılabilir. Üretim sistemini bir bütün olarak ele alacak olursak her aşamanın, mikroorganizma gelişimine olanak vermeyecek fiziki ve kimyasal bir denge düzeyinde tutulması da son derece önemlidir. Yukarıda sayılan önlemlerin yetersiz olduğu durumlarda uygun tip, aralık ve dozajlarda bazı biyositlerin kullanılması sorunu çözebilir. Daha etkili çözümler konu üzerinde yapılacak zengin araştırmalar sonunda ortaya çıkacaktır.

KAYNAKLAR

1. Diesen, M., Papermaking Science and Technology Series, Book 1. Cooperation with the Finnish Paper Engineers Association and Tappi, Helsinki, 186p, 1998.
2. İmamoğlu, S., Kayacan, B., Kağıt Endüstrisinde Lifsel Hammaddeler Kullanımı ve Orman Kaynakları Yönetimi, II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 15-18 Mayıs 2002, Artvin, Bildiriler Kitabı, Cilt 3, 999-1007.

3. Sorrelle, P.H., Belgard, W.E., Growth in Recycling Escalates Cost for Paper Machine Biological Control, *Advances in Paper Recycling*, Miller Freeman Books, San Francisco, (Ed. Patrick, K.L.), s. 113-118, 1994.
4. Vaisanen, O.M., Nurmiaho-Lassila, E.L., Marmo, S.A., Salkinoja-Salonen, M.S., Structure and Formation of Biological Slimes on Paper and Board Machines, *Applied and Environmental Microbiology*, 60 (1994) 641-653.
5. Smith W.E., Bunker, L., The Impact of Secondary Fibre on the Paper Machine, *Secondary Fibre Recycling*, Tappi Press, Atlanta, (Ed. Spangenberg, R. J.) s. 29-36, 1993.
6. Eklund, D., Lindström, T., Microbiology and Slime Control Agents in Papermaking, *Paper Chemistry Book*, DT Paper Science Publications, Grankulla, Finland, (Ed. Eklund, D. and Lindström, T.) s. 295-300, 1991.
7. Bozkurt, A.Y., Erdin, N., Ünlügil, H., Odun Çürüten Mantarların Yaşam İstekleri ve Gelişmelerini Önleyen Maddeler, *Ağaç Teknolojisi*, Bölüm 4, İÜ Yayın No: 3998, s. 91-104, İstanbul, 1997.
8. Atak, A., Kağıt ve Selüloz Üretim Prosesinde Şlaim Oluşumu ve Kontrolü, *Seka Dergisi Teknik Bülten*, 23 (1994) 179-184.
9. Robertson L.R., Rice, L.E., Kehoe, V.M., Detection and Control of Filamentous Bacteria to Improve Machine Cleanliness and Runnability, *Appita Journal*, 54 (3) (2001) 257-260.
10. Hoekstra, P.M., Microbiology in the Paper Industry, 1990 Tappi Chemical Processing Aids Short Course, 4p. (www.buckman.com/eng/micropap.htm), 1990.
11. Demirtaş, Ü.İ., Özel, Y., 1993. Kağıt Karton Sanayiinde Bakım Teknolojileri, I. Ulusal Kağıt Sempozyumu, 1993, Sapanca, Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: 164 s. 83-94.
12. Buckman, S.J., Buckman, J.D., Microbiology, Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology Book, Third Edition, Vol. II; Ed. Casey, J. P. A Wiley-Interscience Publication s. 1371-1401, 1980.
13. Özden, Ö., İmamoğlu, S., Atık Kağıt Kullanımının Oluklu Mukavva Özellikleri Üzerine Etkisi ve Atık Kağıt Sınıflandırma Sistemi. II. Uluslararası Ambalaj Kongresi ve Sergisi, 30 Mayıs-1 Haziran 2001, İzmir, s. 277-288.
14. Suihko, M.L., Skyttä, A Study of the Microflora of Some Recycled Fibre Pulps, Boards and Kitchen Rolls, *Journal of Applied Microbiology*, 83 (1997) 199-207.
15. Miller, B., Receiving, Inspection and Storage of Secondary Fibre, *Secondary Fibre Recycling*, Tappi Press, Atlanta, (Ed. Spangenberg, R. J.), s. 87-89, 1993.
16. Springer, A.M., Marshall, D., NCASI Stream Improvement Technical Bulletin No. 282, National Council of the Paper Industry for air and Stream Improvement, New York, 107p, 1975.
17. Hawes, J.M., Design Consideration for Paper Machine Clothing in Secondary Fibre Application, *Recycled Paper Technology*, Tappi Press, Atlanta, (Ed. Doshi, M.), s. 60-66, 1994.

18. Ruzicka, J., Forming Fabrics are Only One Variable in Enhancing Quality of Recycled Sheet, *Advances in Paper Recycling*, Miller Freeman Books, San Francisco, (Ed. Patrick, K.L.), s. 121-123, 1994.
19. Fischer, B.H., Reduction in Pitch Adherence of Machine Clothing, *Tappi Journal*, 82 (11) (1999) 50-52.
20. Green, R., Better Clothing Cleaning Techniques Combat Recycled Fibre Contamination, *Advances in Paper Recycling*, Miller Freeman Books, San Francisco, (Ed. Patrick, K. L.), s. 124-127, 1994.
21. Anonim, Microbiology of Papermaking, Memorandum of Understanding for the Implementation of an European Concerted Research, Project No: COST Action E17, Brussels, 1999.
22. Holik, H, Unit Operations and Equipment in Recycled Fibre Processing, *Recycled Fibre and Deinking*, Fapet Oy Publication, Helsinki, (Ed. Göttching, L.) s. 91-205, 2000.
23. McKinney, R.W.J., Wastepaper Preparation and Contaminant Removal, *Technology of Paper Recycling*, Blackie Academic and Professional Publication, London, (Ed. McKinney, R.W.J.), s. 48-124, 1995.
24. Jokinen, K., Osmonen, R.M., Microbial Sensory and Toxicological Aspects of Paperboards, *Paper and Timber*, 77 (1995) 200-204.
25. Korhonen, S., Tuhkanen, T., Ozone as a Biocide in Paper Machine Recycled White Water, *Tappi Journal*, 83 (5) (2000) 75-77.
26. Merwe, T., Wolfaardt, F., Riedel, K.H., Analysis of the Functional Diversity of the Microbial Communities in a Paper Mill Water System, *Water SA*, 29 (1) (2003) 31-34.
27. Sisk, J.P., Harrison, A.D., Steenbeek, P.W., Effects of Bromine and Chlorine Based Biocides on Polyamide Fibre Material Utilized in Paper Machine Clothing, 7th International Symposium for the Paper Machine Clothing Industry, 2000.
28. Steenbeek, P., Harrison A., Sisk, P., BCDMH as a Slime Control Agent in Modern Paper Manufacture, *African Pulp & Paper Week*, 17-19 October 2000, Johannesburg.
29. Freis, R.E., Enzyme Eliminates Slime Build-up in Acid and Alkaline System, *J. of Pulp and Paper*, 57 (4) (1983) 124.
30. Johnsrud, S.C., Biotechnology for Solving Slime Problems in the Pulp and Paper Industry, *Advanced Biochemical Engineering*, 57 (1997) 311-316.