



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kâğıdın Optik Özellikler Üzerine Mürekkep Giderme İşlemi ile Farklı Uygulamaların Etkileri

Selim KARAHAN^{a,*}

^aGümüşhane Üniversitesi Kürtün MYO, Ormancılık Bölümü, 29810 Kürtün- Gümüşhane, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: selimkarahan@gumushane.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada ofis kâğıtları üzerine öncelikle siyah lazer baskı yapılmış ve daha sonra bu kâğıtlardan mürekkep giderme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İkinci basamak olarak, baskılı kâğıtlar farklı şartlar altında Hobart hamurlaştırıcısı ile hamurlaştırılmış ve süspansiyonlar hazırlanmıştır. Hamurlaştırma ve süspansiyon hazırlama aşamalarında farklı oranlarda kimyasal ve enzimler katılmış ve bunların etkileri analiz edilmiştir. Ultrases etkisi de ayrıca incelenmiştir. Son olarak işlem görmüş olan atık kâğıt hamuru, yüzdürme esaslı mürekkep giderme işlemine alınarak mürekkeplerinden tamamen arındırılmaya çalışılmıştır. İşlem sonunda ise elde edilen test kâğıtları üzerinde optik analizler yapılmıştır. Çalışma sonunda, genel olarak enzimlerin hamurun beyazlık ve parlaklık üzerine olumlu etkisi görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ofis kâğıdı, Optik özellikler, Yüksek kesafet hamurlaştırma, Mürekkep giderme, Ultrasonik işlem, Enzimler.

The Effects of Different Applications with Deinking Treatment on Optical Properties of Paper

ABSTRACT

In this study, on office papers firstly black laser printing was applied and the deinking treatments were carried out on these papers. In the second step, printed papers were repulped using Hobart mixer under different conditions and the suspensions were prepared. In the stages pulping and the suspension preparation, different level of chemicals and enzymes were added and their effects were analysed. The effect of ultrasound was also studied. In the final stage, the waste paper pulp treated were completely tried to purify from the deinks taking the flotation deinking method. In the last of process, optical analyses on the test papers obtained were made. At the end of the study. It was seen that in generally enzymes and pulp have a positive effect on whiteness and brightness.

Keywords: Office paper, Optical properties., High consistency pulping, Deinking, Ultrasonic treatment, Enzymes.

I. GİRİŞ

Mürekkep giderme işlemlerinde liflere farklı şekillerde tutunmuş olan mürekkepler ve renk pigmentlerinin uzaklaştırılmasına çalışılır. Dolayısıyla kâğıtçının uzaklaştırmaya çalıştığı kirliliklerinin özelliklerini ve kâğıda nasıl tutunduğunu iyi bilmesi ve optik özelliklerin belirlenebilmesi için de atık kâğıdın işlem sonundaki mürekkep giderilme etkinliğini de bilmesi ayrıca önem taşımaktadır.

Kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisinde atık kağıtlara uygulanan mürekkep giderilmede kullanılan kimyasal kullanımına alternatif olarak dünyada enzim kullanabilecek en büyük pazarlardan birisi olarak kabul edilmektedir. Hayat standardının artmasına paralel olarak dünya kâğıt ihtiyacı giderek artmakta, çevre dostu ve etkili üretim prosesleri daha da önem kazanmaktadır. Artan hamur verimi, gelişmiş lif özellikleri, iyileştirilmiş geri kazanma, daha az işlem yeterliliği ve çevre problemleri, kâğıt endüstrisinde enzim kullanılmasını doğuran sebeplerin başında gelir. Enzimlerin, kâğıt ve kâğıt hamuru üretiminde kullanılabilmesi üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar oldukça artmıştır. Özellikle ağartma ve mürekkep giderme işlemlerinde kullanılmak üzere birçok enzim halen yoğun bir şekilde incelenmektedir [1].

Enzimler mürekkep - selüloz bağımlı kırabilir. Bu yüzden liflerden mürekkep parçacıklarının uzaklaşması kimyasallardan çok daha kolay olmaktadır. Enzimatik işlem ile kimyasal kullanımını azaltıp bu sayede doğal kaynakların korunumu sağlamaktadır [2]. Enzimler ile yapılan mürekkep giderme işlemlerinde, geleneksel mürekkep giderme yöntemlerinde kullanılan başta sodyum hidroksit olmak üzere, sodyum silikat ve hidrojen peroksit gibi kimyasal maddelerin kullanılmalarını azaltıp dolayısıyla da bu kimyasallarının tüketimlerini önemli ölçüde düşüreceği için çevre kirliliği ile ilgili kaygıları giderme konusundaki beklentilerinin de karşılacaktır. Mürekkep giderme amacıyla enzimlerin kullanılması, bu amaçla kullanılacak kimyasal maddelerin yerini büyük ölçüde enzimlerin alması durumunda ancak ekonomik olacak ve kabul görecektir. Günümüzde çevreye karşı duyarlılığın ve enerji tasarrufuna yönelik kaygıların artması, kâğıt endüstrisini kimyasal mürekkep gidermeye alternatif yeni arayışlara yönlendirdiği bu yüzdende enzimlerle yapılan uygulamalar ile mürekkep gidermede bu kaygıları giderecek yeni teknolojiler arasında yer almıştır [3]. Enzimlerin kullanım alanı bakımından tekstil ve orman ürünleri sanayi için değerli olduğunu ve sonuçta buralar için hem maliyeti düşürecek hem de kaliteyi ucuza getirilip, ekonomik yapı iyileştirecektir. Ayrıca kâğıt ve hamur endüstrileri gibi endüstrilerde yeni teknolojilerin büyük maliyetler oluşturduğu hâlbuki bu yeni enzim teknoloji ile hemen hemen aynı teknolojiyi daha az maliyetle geliştirilebilir ve teknolojik alt yapısını geliştirmeyi düşünenler için yatırım yapılabilir bir alan olduğu da görülmektedir [4]. Liflerden kirliliklerin uzaklaştırılmasında selülaz enziminin mürekkep giderme işleminde kolaylık sağladığı, ayrıca selülaz uygulaması ile bu işlem için gerekli kimyasal miktarda da düşüş meydana getirmiştir. Ayrıca kâğıt ve hamur endüstrisinin çok fazla enerji ve kimyasal tüketimi ile çevre konusunda tehdit oluşturduğu ancak enzimatik işlemin bu tehdit için yeni fırsatlar sunduğunu ve bu sayede hem geleneksel metotlarda kullanılan kimyasallara bir alternatif olmuştur. Diğer yandan ise daha çevre dostu olduğu ve enzimin çevreye olan zararlı etkisi ve enerji tüketimi, geleneksel olarak bilinen ağartma, liflendirme, saha kontrolü, mürekkep giderme ve yapışma kontrolü ile kıyaslandığında çok daha düşük olduğu bulunmuştur [5]. Yapılan çalışmalarda atık ofis kâğıtlarına uygulanan flotasyon esaslı mürekkep giderme işleminde ortalama hamur verimi % 81,50 olarak bulunmuştur [6]. Çalışmada atık kâğıt üzerinde ultrasonun etkisi de ayrıca araştırılmıştır. Bu durumun lifler üzerindeki mürekkebin sökülmesi etkisine bakılmıştır [7].

II. DENEY

A. MATERYAL

Yapılan çalışmada, baskılı ofis kâğıtları üzerinde mürekkep giderme işlemleri yapılmıştır. Mürekkep gidermede sırasıyla sodyum hidroksit, hidrojen peroksit, sodyum silikat, oleik asit ve kalsiyum klorür kimyasalları Ingede metoduna göre uyarlanarak kullanılmıştır [8; 9; 10]. Çalışmada ksilanaz, β -gluktonaz, amilaz ve selülaz gibi enzimler kullanılmış ve ayrıca ultrasonik enerjiden de faydalanılmıştır. Test kâğıtlarının renk ölçümleri ISO/CD standardına göre Elrepho marka Optik test cihazı ile leke analiz ölçümü ise Epson marka expression 1680 model cihaz ile yapılmıştır [11]. Çalışmada kullanılan kimyasal madde ve enzimler MERCK firmasından temin edilmiştir.

B. METOT

Atık kâğıt süspansiyonuna belli şartlar altında ön hamurlaştırma yapıp sonrasında enzim ile belli şartlar altında muamele edilmiştir. Enzim muamelesi gören hamur daha sonra kimyasal ilavesi yapılacak olan ikinci hamurlaştırma işlemine alınmış daha sonra ise belli şartlar altında ultrasonik işlem yapılmıştır. Bu işlemlerin sonrasında baskı yapılan ofis kâğıtlarına, standart Ingede metoduna göre hamurlaştırma işlemleri uygulanmıştır. Hamurlaştırma işlemleri iki kademede yapılmıştır. Her kademede 103,11 g (Tam kuru) hamur kullanılmıştır. Hamurlaştırma işlemleri için Hobart tipi hamurlaştırıcı cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz ile belirlenen devir hızlarında ve sürelerinde hamurlaştırma işlemleri yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Hobart tipi pulper ile belirlenen parametrelere ait hamurlaştırma işlemleri ile ilgili veriler

İşlem	Devir	Kesafet	Süre	Kağıt & Hamur miktarı	Kimyasal Madde
	devir/dk	%	dk	g	
Ön bekletme (Islatma)	---	15	5	103,11	-
1. Hamurlaştırma	55;85;150	15	9 (3;3;3)	103,11	+
2. Hamurlaştırma	150	14	9	103,11	-

Kâğıdın optik özellikleri, kullanım yerine bağlı olarak çoğu zaman diğer fiziksel özelliklerinden daha önemli bir konuma gelebilmektedir. Birçok kullanım yerinde büyük önem taşıyan kâğıdın görünümü, doğrudan kâğıdın sahip olduğu optik niteliklerine bağlıdır. Özellikle atık kâğıtlara uygulanan mürekkep giderme işlemleri, üretilecek kâğıdın görünümünü daha iyi bir duruma getirmek için yapılmaktadır. Kâğıttaki optik özellikler, bir ışık kaynağından gelen ışığın kâğıt yüzeyine çarpması sonucu yansımaları, emilmesi, dağılması veya diğer tarafa geçmesinin uygun metotlar ve ekipmanlarla ölçülmesiyle belirlenmektedir.

Mürekkep uzaklaştırma işlemi sonrası, hamur içerisinde ne kadar mürekkebin kaldığı veya ne kadarının uzaklaştırıldığını belirlemeye yardımcı olan birçok yöntem bulunmaktadır. Hamur parlaklığı ve renk değerleri de bu yöntemlerin en fazla uygulananlarındandır. Bunun nedeni, kâğıt hamuru

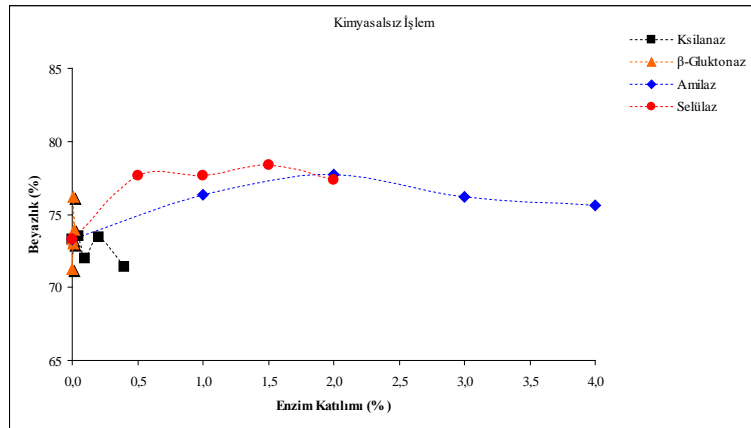
içerisinden koyu renkli olan mürekkep pigmentlerinin uzaklaştırıldıkça kâğıt hamurunun parlaklığının artmasıdır. Bu amaçla karbon siyahı gibi pigmentlerin ışık absorblama özelliklerinden yararlanılarak geliştiren bir çok optik ölçüm teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi ingede test metoduna göre 700 veya 950nm dalga boyunda hamur pedi veya test kağıdı üzerinden ölçülen reflektans değerleri ile hesaplanan mürekkep uzaklaştırma etkinliğidir.

Çalışmada belirtilen;

- **Parlaklık**: Kâğıdın ışığı yansıtma yeteneğidir.
- **Sarılık**: Kâğıttan yansıyan sarı rengin yüzdesi.
- **L*, a*, b*** : Kâğıdın parlaklık ve beyazlık değerlerinin yanında renk değerleri de oldukça önemlidir. Kâğıt üzerine ışık geldiğinde bu ışığın bir kısmı emilir bir kısmı da kâğıdı geçerek gider, geriye kalan kısmı da dağınık olarak yansır. Kâğıt tarafından emilen ışığın miktarı ve dalga boyu kâğıdın rengini belirler. Kâğıdın renginin ölçülmesinde geliştirilen temel renk modellerinden biri olan L*, a*, b* sistemidir. Bu sistem üç boyutlu renk modeli, renklerin algılanan şekline en uygun olarak geliştirilen matematiksel bir modeldir.
- **Beyazlık** : Beyaz kâğıt ile siyah mürekkep arasındaki baskı kalitesini belirtir.
- **Opaklık** : Işığın kâğıt tarafından geçirilme derecesidir. Yani kâğıt ne kadar opak ise ışığı da diğer tarafa o kadar az geçirir.

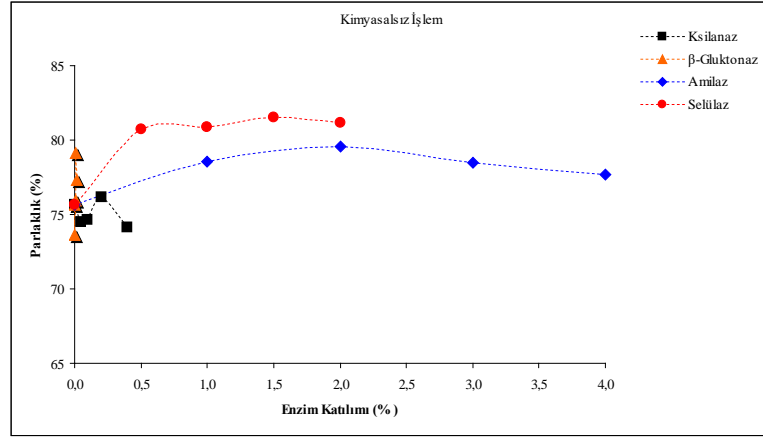
III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Atık gazete ve magazin kâğıtları üzerinde flotasyon esaslı mürekkep giderme işlemi sonrası analizlerde ingede mürekkep giderme standardı 'IE 700 veya 950' nin uygulanan dalga boyları arasında paralel bir ilişki kurulduğu gözlenmiştir [12]. Gerçekleştirilen bu çalışmada paralel formüller aracılığı ile hesaplanan ERIC yöntemi yerine test kâğıtlarına daha uygun olan IE 700 değeri ölçülmüştür. Elrepho cihazı kullanılarak parlaklık, sarılık, L*, a*, b*, beyazlık ve opaklık değerlerine bakılmıştır. Ayrıca Epson marka leke sayıcı ile de test kâğıtları üzerinde (mm² ve m² üzerinden kirlilik sayımı) leke analizi işlemi yapılmıştır. Optik analizler ile ilgili analizler şekillerde verilmiştir (Bkz. Şekil 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16, 17).



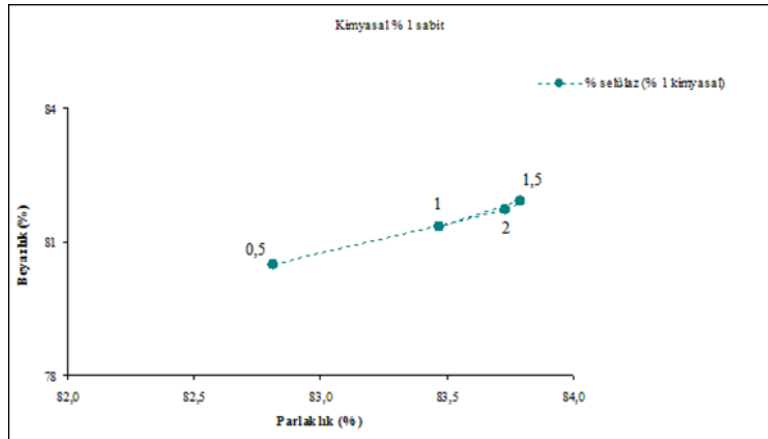
Şekil 1. Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının beyazlık üzerine etkisi [13]

ISO parlaklığı olarak adlandırdığımız UV filtreli ingede test kâğıdına ait parlaklık değerleri incelendiğinde 250 mg FAS ilavesiyle başlayan birinci ağartma aşamasında % 63.79 ISO parlaklığı ölçülmüş ve başlangıç parlaklık değerine göre % 2.96 birim parlaklık kazanımı sağlanmıştır. Son aşama olan 1000 mg FAS ilavesi sayesinde ise % 73.23 ISO parlaklığı elde edilmiş ve toplam % 12.4 birim parlaklık kazanılmıştır. Diğer yandan 1000 mg FAS ilavesiyle UV filtreli ISO kâğıdının parlaklığı % 83.77 olarak ölçülmüştür. Bu değer, kullanılan baz kâğıdın baskı işlemi yapılmadan hamurlaştırılmasıyla (AH) elde edilen ISO kâğıdının UV filtresiz pozisyonunda ölçülen parlaklık değerine (84.40) oldukça yakın bir değerdir. Diğer bir deyişle, bu derece bir ağartma yapılmış bu kâğıt hamurundan taze proses suyu kullanılması şartıyla, baz kâğıt olarak kullanılan beyaz kâğıdın parlaklık değerlerine çok yakın bir kâğıt elde etmek mümkün görünmektedir [13].



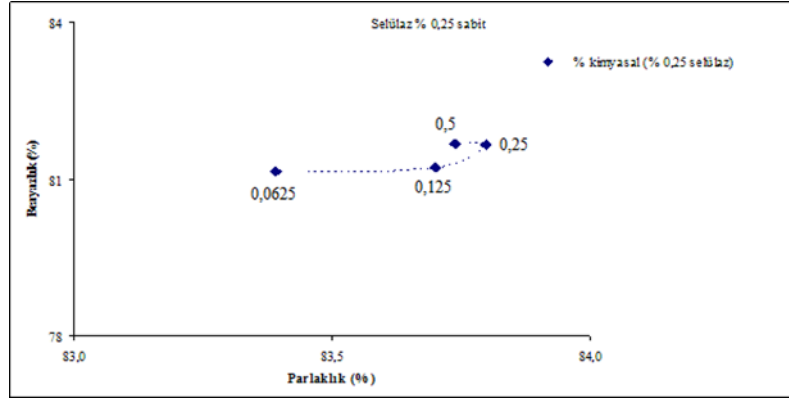
Şekil 2. Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selülaz katılımının belli oranlarda artırılmasının parlaklık üzerine etkisi [13]

Enzimlerin beyazlık ve parlaklık üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 1; 2), selülaz enziminin beyazlık ve parlaklık üzerine etkisinin diğer enzimlerden fazla olduğu görülmektedir. Muhtemelen bu ise selülozun toneri liften ayırıp uzaklaştırması diğer enzimlerden daha fazla olduğundan bu durum ise kâğıdın hem beyazlık hem de parlaklığına olumlu yönde katkı sağlamıştır. Genel olarak enzimlerin hamurun beyazlık ve parlaklık üzerine olumlu etkisi görülmektedir. En iyi parlaklık ve beyazlık değerleri enzimlerin optimum katılım oranlarında (kilanaz % 0,20; β-gluktonaz % 0,01; amilaz % 2; selülaz % 1,5) elde edilmiştir [13].

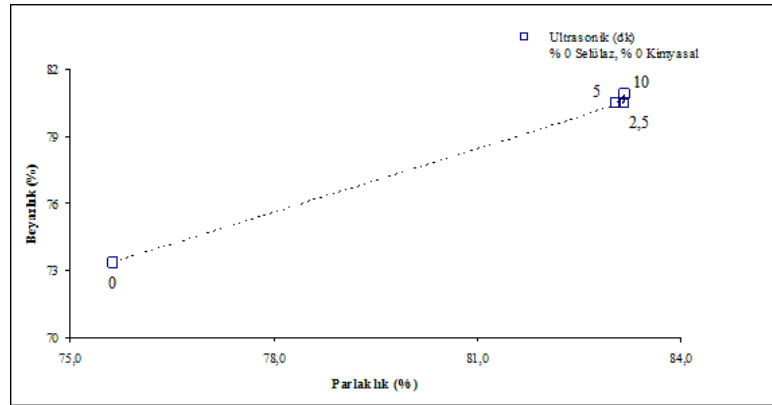


Şekil 3. Kimyasal katılımı sabit alınırken selülaz katılımının belli oranlarda artırılmasının (% 0,5; % 1; % 1,5; % 2) beyazlık ve parlaklık üzerine etkisi

Kimyasal katılımı sabit iken selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının beyazlık ve parlaklık arasındaki korelasyona bakıldığında (Şekil 3), bu ikisi arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (kimyasal % 1 + selüloz % 0,5) beyazlık ve parlaklık değerleri sırasıyla % 80,50 ve % 82,81 olarak bulunmuştur. Selüloz katılımı sabit iken kimyasal katılımının ise belli oranlarda azaltılmasının beyazlık ve parlaklık arasındaki korelasyona bakıldığında (Şekil 4), aralarında doğrusal bir ilişki görülmektedir. Beyazlık ve parlaklık değerleri üzerinde bir artış sağlanmıştır. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (selüloz % 0,25 + kimyasal % 0,125) beyazlık ve parlaklık değerleri sırasıyla % 81,22 ve % 83,70 olarak bulunmuştur.

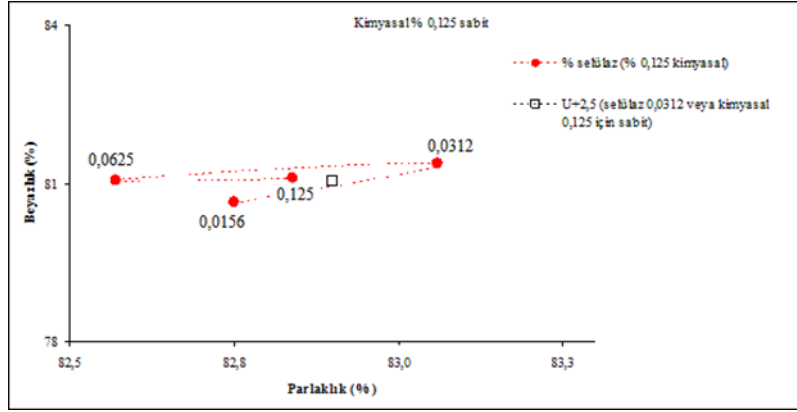


Şekil 4. Selüloz katılımı sabit alınırken kimyasal katılımının belli oranlarda azaltılmasının (% 0,5; % 0,25; % 0,125; % 0,0625) beyazlık ve parlaklık üzerine etkisi



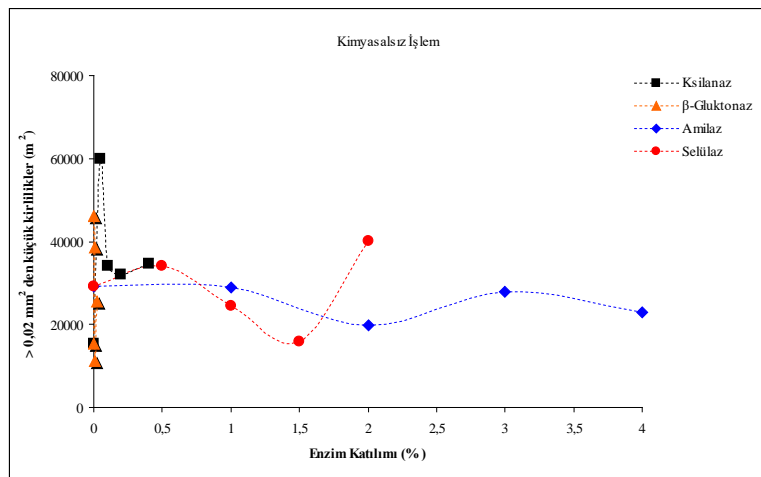
Şekil 5. Ultrasonik işlem süresinin (0 dk; 2,5 dk; 5 dk; 10 dk) beyazlık ve parlaklık üzerine etkisi

Ultrasonik işlem süresinin beyazlık ve parlaklık üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 5), işlem süresinin beyazlık ve parlaklık üzerine fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

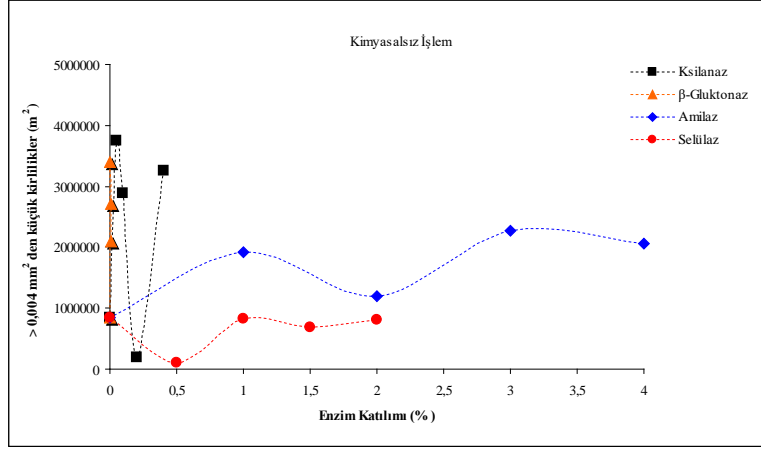


Şekil 6. Kimyasal katılıma sabit alınırken selüloz katılıminin belli oranlarda azaltılmasının (% 0,125; 0,0625; 0,0312; 0,0156) sınıf beyazlık ve parlaklık üzerine etkisi

Kimyasal katılıma sabit iken selüloz katılıminin belli oranlarda azaltılmasının beyazlık ve parlaklık üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 6), ikisinde de fazla bir değişiklik sağlanmamış ve beyazlık ve parlaklık değerleri korunmuştur. Fakat katılımlardaki değerler kimyasal ve selülozün inebileceği max. düzeyi düşünülürken hem beyazlık hem de parlaklık için olumlu bir katkı sağlandığı söylenilebilir. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (kimyasal % 0,125 + selüloz % 0,0312) beyazlık ve parlaklık değerleri sırasıyla % 81,37 ve % 83,06 olarak bulunurken, bu katılıma 2,5 dk Ultrasonik işlemden sonra beyazlık ve parlaklık değerleri sırasıyla % 81,3 ve % 82,9 olarak bulunmuştur. Burada ultrasonik işlemin birlikte kullanımının bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Çalışmadan şu izlenimi çıkardık ki toner küçüldükçe hamurun içine geçmesi kaçınılmaz oluyor. Diğer bir ifadeyle tonerin hepsini lif den ayırmak mümkün olmadığından beyazlık ve parlaklık artışı ise çok küçük değerlerde olmakta ya da sabit kalmaktadır. Beyaz A4 kâğıdının ölçülen beyazlığı 79,1 parlaklığı ise 85,7 olarak ölçülmüştür. Kâğıda beyazlık ve parlaklık artışını sağlayan dolgu maddelerinin çoğu denemelerde su ile gittiğinden beyazlık ve parlaklıkta da belli bir düşüş yaşanmıştır. Çalışmada toner baskılı ofis kâğıdının beyazlığı 73,32' den 81,37 çıkmış, parlaklığının ise 75,64' den 83,70' e kadar çıkmıştır.

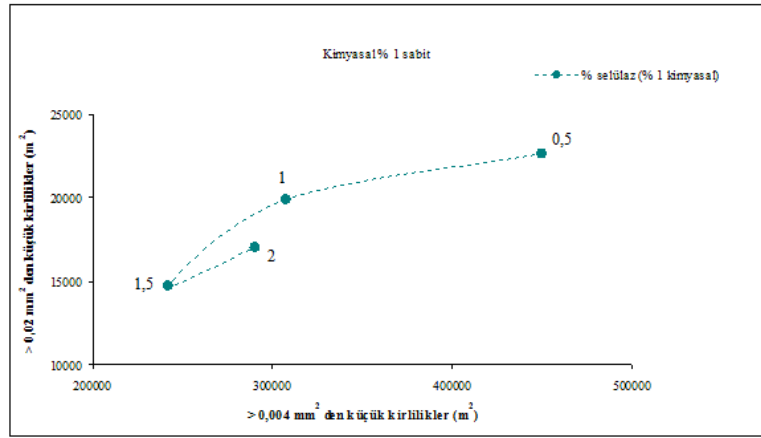


Şekil 7. Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selüloz katılımlarının belli oranlarda artırılmasının test kâğıdındaki > 0,02 mm² den küçük kirlilikler üzerine etkisi



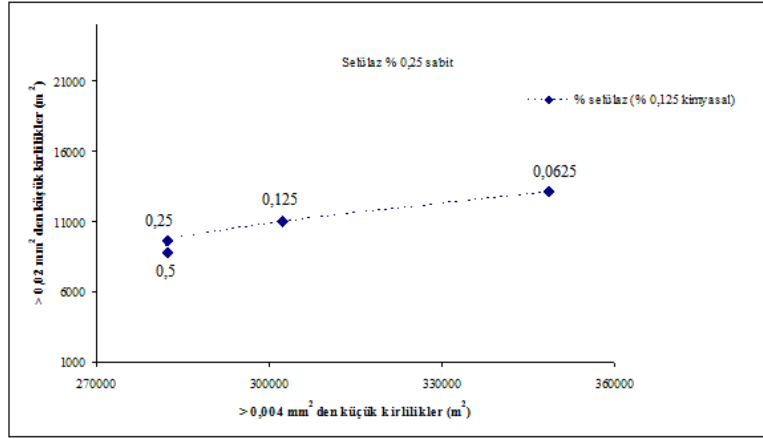
Şekil 8. Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının test kâğıdındaki > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine etkisi

Enzim katılımının belli oranlarda artırılmasının (test kâğıdındaki > 0,02 mm² den ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine) etkisine bakıldığında (Şekil 7; 8), bu iki şekil arasında bir benzerlik olduğu söylenebilir. Leke analizi daha geniş kapsamlı bir analiz yapmaktadır. Bu ise sadece tonerden kaynaklanan kirliliklerin yanı sıra hamurda bulunan tüm kirliliklerin analizini yapmaktadır. Bundan dolayı da şekiller arasında tam bir benzerlik yoktur.



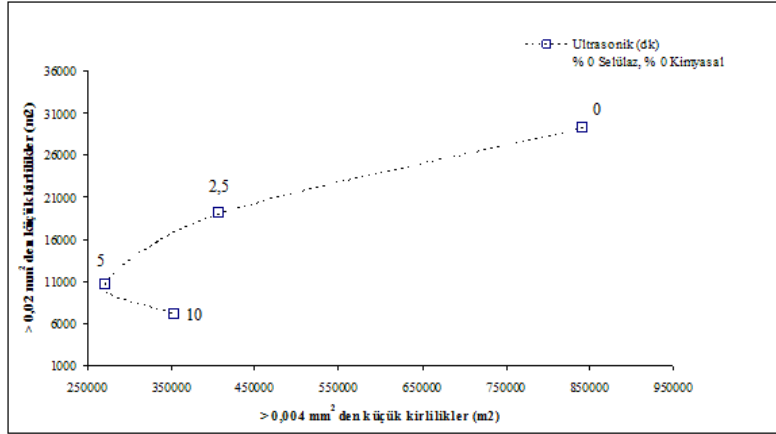
Şekil 9. Kimyasal katılımı % 1 sabit alınırken selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının (% 0,5; % 1; % 1,5; % 2 katılımlarının > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine) etkisi

Kimyasal katılımı sabit iken selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler arasındaki korelasyona bakıldığında (Şekil 9), bu iki kirlilik arasında genel olarak doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (kimyasal % 1 + selüloz % 0,5) > 0,02 mm² den küçük kirliliklerin adeti yaklaşık 29.000'den 22.000'e kadar inerken, > 0,004 mm² den küçük kirliliklerde ise bu kirliliklerin adeti 800.000'den 450.000'e kadar inmiştir.



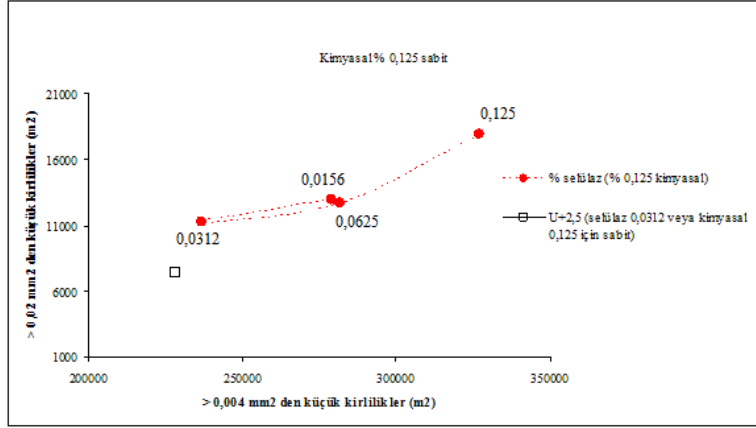
Şekil 10. Selülaz katılımı sabit alınırken kimyasal katılımının belli oranlarda azaltılmasının (% 0,5; % 0,25; % 0,125; % 0,0625) > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine etkisi

Selülaz katılımı sabit iken kimyasal katılımının belli oranlarda azaltılmasının > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler arasındaki korelasyona bakıldığında (Şekil 10), bu iki kirlilik arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (selülaz % 0,25 + kimyasal % 0,125) 0,02 mm² den küçük kirlilik adeti yaklaşık 22.000'den 11.000'e kadar inerken, > 0,004 mm² den küçük kirliliklerin adeti ise 450.000'den 300.000'e kadar inmiştir.



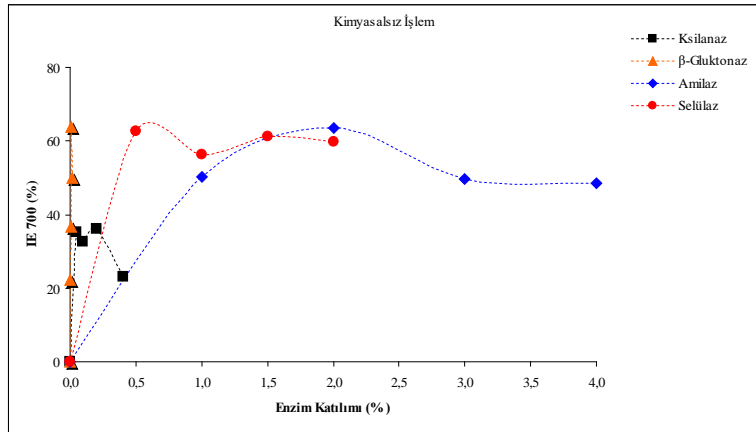
Şekil 11. Ultrasonik işlem süresinin (0 dk; 2,5 dk; 5 dk; 10 dk) > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine etkisi

Ultrasonik işlem süresinin > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerindeki etkisine bakıldığında (Şekil 11), işlem süresinin artımı ile > 0,02 mm² küçük kirlilik adeti 21.000'den başlayıp devamlı bir azalmayla 6.000'e kadar inmiştir. > 0,004 mm² den küçük kirliliklerin belirlenmesinde ise 5 dk'lık işlem süresine kadar bir azalma meydana gelirken 10 dk'lık işlem süresinde yeniden bir artış meydana gelmiştir. Bu durumun ise ultrasonik işlemin kırıntı miktarını artırdığını bunun ise kirliliğe yansıttığını göstermektedir.



Şekil 12. Kimyasal katılımı sabit alınırken selüloz katılımının belli oranlarda azaltılmasının (% 0,125; % 0,0625; % 0,0312; % 0,0156) > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler üzerine etkisi

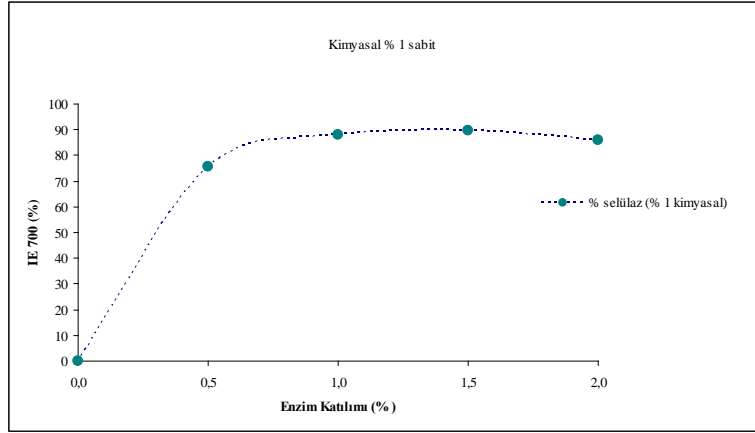
Kimyasal katılımı sabit iken selüloz katılımının belli oranlarda azaltılmasının > 0,02 mm² ve > 0,004 mm² den küçük kirlilikler arasındaki korelasyona bakıldığında (Şekil 12), ikisinde de paralel bir azalış meydana gelmiştir. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (kimyasal % 0,125 + selüloz % 0,0312) 0,02 mm² den küçük kirlilik sayısı yaklaşık 11.000’de sabit kalırken, > 0,004 mm² den küçük kirliliklerin sayısını ise 300.000’den 230.000’e kadar inmiştir. Bu katılıma (kimyasal % 0,125 + selüloz % 0,0312) 2,5 dk. ultrasonik işlem uygulanmış ve 0,02 mm² den küçük kirlilik sayısı yaklaşık 11.000’den 7000’e kadar inerken, > 0,004 mm² den küçük kirliliklerin sayısını ise yaklaşık 230.000’de sabit kalmıştır. Oluşan toner kırıntıları liften daha hafif olduklarından yükselerek flotasyon çamuru ile yüzdürme hücresinin yüzeyinden dışarı alınmıştır.



Şekil 13. Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerine etkisi

Ksilanaz, β- gluktonaz, amilaz ve selüloz katılımının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 13), amilaz ve selülozün mürekkep giderme üzerinde etkinliği göze çarpmaktadır. Fakat diğer enzimlerinde katılım oranları dikkate alındığında tüm enzimlerde bir artış olduğu söylenebilir. Burada baskılı ofis kağıdındaki IE 700 ölçüm sonucu 0 (sıfır) mürekkep uzaklaştırma değeri bulunurken, kullanılan enzimler ile sırasıyla ksilanazda 36,13, β- gluktonaz’ da 63,69, amilazda 63,41 ve selülozda 62,7 olarak bulunmuştur. Ofis kâğıdın da bulunan dolgu

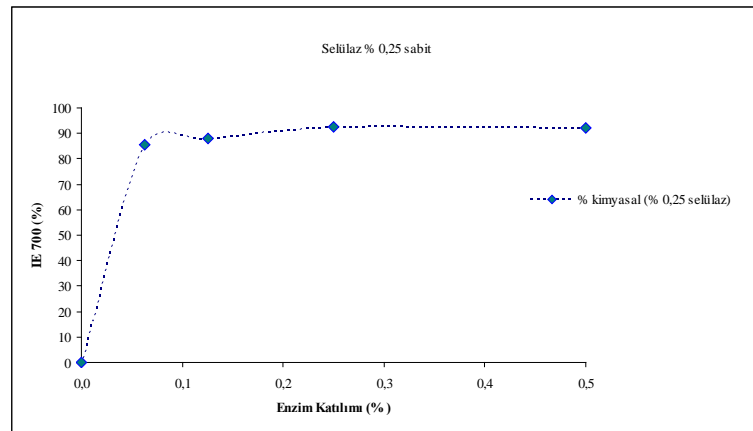
maddelerinin suyla teması ile kâğıt hamurundan ayrılırken üzerinde bulunan toner partiküllerini götürmüştür. Bu durum da ise enzimlerin birbirine yakın mürekkep giderme etkinliği çıkmıştır.



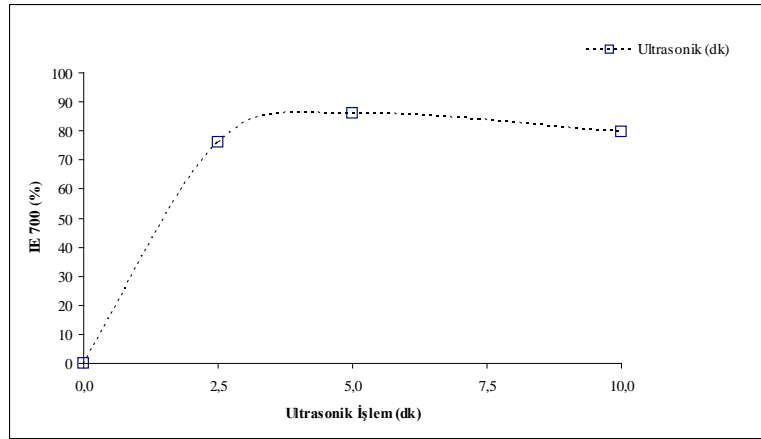
Şekil 14. Kimyasal katılımı sabit alınırken selülaz katılımının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerine etkisi

Kimyasal katılımı sabit iken selülaz katılımının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerinde ki etkisine bakıldığında (Şekil 14), selülaz katılımı ile IE 700 mürekkep giderme etkinliği yaklaşık % 0' dan % 87'lere kadar artmakta, fakat % 1' lik katılımdan sonra bu değer sabit bir hal almaktadır. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (kimyasal % 1 + selülaz % 0,5) IE 700 değeri % 75,75 olarak bulunmuştur.

Selülaz katılımı sabit iken kimyasal katılımının belli oranlarda azaltılmasının IE 700 üzerinde ki etkisine bakıldığında (Şekil 15), kimyasal katılımı ile IE 700 mürekkep giderme etkinliği yaklaşık % 0' dan % 92,51'lere kadar artmakta, fakat kimyasalın % 0,25 lik katılımdan sonra bu değer sabit bir hal almaktadır. Optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımdaki (selülaz % 0,25 + kimyasal % 0,125) IE 700 değeri % 87,88 olarak bulunmuştur.

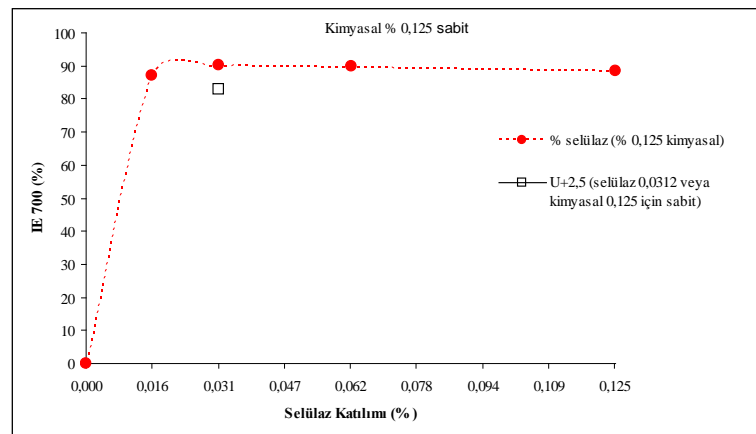


Şekil 15. Selülaz katılımı sabit alınırken kimyasal katılımının belli oranlarda azaltılmasının (% 0,5; % 0,25; % 0,125; % 0,0625 oranlarında) IE 700 üzerine etkisi



Şekil 16. Ultrasonik işlem süresinin (0 dk; 2,5dk; 5dk; 10dk) IE 700 üzerine etkisi

Ultrasonik işlem süresinin artması ile birlikte mürekkep giderme etkinliği de 86'ya kadar çıkıp sonra az bir düşüş yaşanmıştır (Şekil 16).



Şekil 17. Kimyasal katılımı sabit alınırken selülaz katılımının belli oranlarda azaltılmasının (% 0,125; % 0,0625; % 0,0312; % 0,0156 oranlarda) IE 700 üzerine etkisi

Kimyasal katılımı sabit iken selülaz katılımının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerinde ki etkisine bakıldığında (Şekil 17), selülaz katılımı ile IE 700 mürekkep giderme etkinliği yaklaşık % 0' dan optimizasyona gidilerek belirlenmiş en iyi katılımda (kimyasal % 0,125 + selülaz % 0,0312) % 90,31'lere kadar artmıştır. Bu katılıma 2,5 dk'lık ultrasonik işlem uyguladığında sonucun değişmediği gözlemlenmiştir.

Ultrasonik yöntem ile tüketilen enerjinin klasik yüzdürme yöntemiyle mürekkep gidermede tüketilen enerjinin 1,4 kat daha fazlasını gerektirmiştir. Fakat bu durum hamurun parlaklığında % 20' ye varan bir iyileşme göstermiştir. Ayrıca ultrasonik muamele görmüş lif süspansiyonu, muamele görmemiş bir lif süspansiyonuna göre daha yüksek kâğıt yoğunluğu, daha yüksek çekme direnci ve daha yüksek bir parlaklık göstermiştir. Çalışma sonunda ise, ultrasonik muamelenin atık kâğıdın kalitesinin artırılmasında etkili olduğuna varılmıştır [7]. Baskı kâğıtlarındaki mürekkep giderme işleminde yüksek yoğunluktaki ultra sesler kullanılmıştır. Bu sesler hem baskı kâğıtlarından mürekkebi

uzaklaştırmak hem de mürekkep parçacık çapını küçültmek için kullanılmıştır. Yapılan bu işlemler mürekkep giderme fabrikalarında kullanılan yüzdürme işlemiyle de uyumlu olmaktadır. Ayrıca sıcaklık ve güç yoğunluğu etkisinin de mürekkep parçacık dağılımında önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada mürekkebin % 100'e yakınının uzaklaştırılmasının ultrasesler ve yıkama etkisiyle başarılmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda dağılıma ve parçacık büyüklüğünün azaltılması işleminde ultrases ve yıkama işlemi ile mürekkep giderme ve bu kâğıtların geri dönüşümünün çok zor olmayacağı' fikrine varılmıştır [14]. Kâğıdın geri dönüşümü esnasında, ultrasonik yöntemle kimyasal kullanılmadan ofis kâğıtları üzerinde mürekkep giderme işlemi yapılabileceği umulmaktadır [15]. Ultrasonik muamele ile klasik kâğıt hamuru ve beyaz muhasebe kâğıdı karşılaştırılarak, mürekkep tane boyutu ve mürekkep uzaklaştırma katsayılarına bakılmıştır. Mürekkep giderme etkinlikleri geleneksel yöntemle 81-85 arasında iken Ultrasonik yöntemde bu oran 89-95 arasında bulunmuştur. Parlaklık sonuçları ise geleneksel yöntemle % 78,2 ile % 79,6 arasında iken Ultrasonik yöntemle bu oran 78,8-80,6 arasında değerlendirilmiştir. Beyaz muhasebe kâğıdına uygulanan ultrasonic muamele sonucunda mürekkep dağılım boyutunun yüzdürme yöntemi için uygun olduğu bulunmuştur. Hamurun niteliği ve etkili bir şekilde mürekkebin uzaklaştırılmasının, ultrasonik mürekkep giderme ile geliştirilmektedir. Ultrasonik işlem uygulaması ile mürekkep giderme etkinliği ve atık su kalitesi iyileştirilmiştir. Ayrıca ultrasonik mürekkep giderme sisteminde optimizasyon sağlanılarak, ilerde rekabet gücünün daha da artacağı umulmaktadır [16]. Kâğıt üzerinde bulunan ve ses bozunmasına karşı hassas olan mürekkep kâğıttan uzaklaşmaya meyillidir. Olası bir yaklaşım da ise, mürekkebin metal bağlayıcı kısmı kâğıdın üzerine emildiği ve organik kısmının ise uzaklaştırılacağı söylenmektedir. Dağıtmanın etkisi ile kimyasal yapı değişkenlik göstermektedir. [17].

IV. SONUÇ

Enzimlerin beyazlık ve parlaklık üzerine etkisine bakıldığında, selülaz enziminin beyazlık ve parlaklık üzerine etkisinin diğer enzimlerden fazla olduğu görülmektedir. Bu durum selülozun toneri liften ayırıp uzaklaştırması diğer enzimlerden daha fazla olduğundan bu durum ise kâğıdın hem beyazlık hem de parlaklığına olumlu yönde katkı sağlamıştır. Genel olarak enzimlerin hamurun beyazlık ve parlaklık üzerine olumlu etkisi görülmektedir. Ultrasonik işlem süresinin beyazlık ve parlaklık değerleri üzerine etkisine bakıldığında, işlem süresinin beyazlık ve parlaklık üzerine fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ultrasonik işlem süresinin $> 0,02 \text{ mm}^2$ ve $> 0,004 \text{ mm}^2$ den küçük kirlilikler üzerindeki etkisine bakıldığında (Şekil 4.34), ultrasonik işlem süresinin artımı ile $> 0,02 \text{ mm}^2$ küçük kirlilik adeti 21.000'den başlayıp devamlı bir azalmayla 6.000'e kadar inmiştir. $> 0,004 \text{ mm}^2$ den küçük kirliliklerde ise 5 dk'lık ultrasonik işlem süresine kadar bir azalma meydana gelirken 10 dk'lık ultrasonik işlem süresinde yeniden bir kirlilik artışı meydana gelmiştir. Bu ise Ultrasonik işlemin kırıntı miktarını artırdığını bunun ise kirliliğe yansıttığını göstermektedir. Ksilanaz, β -gluktonaz, amilaz ve selülaz katılımlarının belli oranlarda artırılmasının IE 700 üzerine etkisine bakıldığında, amilaz ve selülazın mürekkep giderme üzerinde etkinliği göze çarpmaktadır. Fakat diğer enzimlerinde katılım oranları dikkate alındığında tüm enzimlerde bir artış olduğu söylenebilir.

Ultrasonu klasik yüzdürme ile mürekkep gidermeden önce geri dönüştürülmüş lif süspansiyonuna uygulanmışlardır. Bu durum lifin hacim ve esnekliğinde artışa neden olmuştur. Ultrasonik muamele görmüş liflerin su tutma değeri geri dönüşümde oluşan kayıplardan dolayı iyileşmiştir. Bunun durumun nedeni olarak işlemin dövme etkisinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak ultrasonik işlem ve enzim kullanımı ile oldukça başarılı, ekonomik ve çevresel açıdan daha az zararlı bir mürekkep

giderme işlemi başarılıdır. Konu hakkında daha detaylı çalışmalar yapılmasında fayda vardır. Genel olarak ulaşılan noktalar aşağıda sıralanmıştır;

- Ingede standardında önerilen kimyasal reçeteden daha aşağı inilmiştir (1/8)
- Enzimlerden Selülaz en iyi çalışmıştır
- Kimyasal ve enzim kombinesi iyi sonuçlar vermiştir
- Ultrasonik enerji son derece etkilidir
- Ultrasonik enerji leke boyutunu düşürmektedir
- Enzim uygulamasında süre düşürmelidir
- Ultrasonik enerji son derece hızlı ve pratiktir
- Ultrasonik enerji daha fazla çalışılmalıdır

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Karademir, M. Akgül, A. Tutuş, Kağıt Endüstrisinde Enzim Kullanımına Genel Bir Bakış, Enzimlerin Kabuk Soyma, Liflerin Modifikasyonu, Çözünebilir Kağıt Hamuru ve Selüloz Üretiminde Kullanımı: *KSU Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2002) 61-71.
- [2] N. Yılgör, J. Cameron, A. Velpumadugu, K. Kumar, *Enzymatic Deinking of Inkjet Printed Papers*, **TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference**, Oktober 11-14, Memphis, Tennessee, (2009) 1-14.
- [3] N. Yılgör, Mürekkep Giderme Sürecinde Enzimlerin Kullanılması: *Orman Fakültesi Dergisi, İstanbul Üniversitesi*, **60 (1)** (2010) 73-75.
- [4] W. Kenealy, G. Buschle-Diller, and X. Ren, *Enzymatic Modification of Fibers for Textile and Forest Products Industries: Modified Fibers with Medical and Specialty Applications* (2006) 191-208.
- [5] P. Skals, A. Krabek, P. Nielsen, H. Wenzel, Environmental Assesment of Enzyme Assisted Processig in Pulp and Paper Industry: *Int LCA Case Studies*, **13 (2)** (2008) 124-132.
- [6] S. İmamoğlu, Atık Kâğıt Hamurlarının Formamaidin Sülfirik Asit (FAS) ile Ağartılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2002).
- [7] D. Tatsumi, T. Higashihara, S. Kawamura, T. Matsumoto, *Ultrasonic Treatment to Improve the Quality of Recycled Pulp Fiber: Journal of Wood Science*, **46 (5)** (2000) 405-409.
- [8] Ingede Test Method 1. 2007. Test Sheet Preparation from Deinked Pulp for Measurement of Optical Characteristics, International Association of the Deinking Industry.
- [9] Ingede Test Method 2. 2007. Measurement of Optical Characteristics of Pulp and Filtrates From Deinking Process, International Association of the Deinking Industry.
- [10] Ingede Test Method 11. 2007. Assessment of Print Product Recyclability -Deinkability Test, International Association of the Deinking Industry.
- [11] ISO/CD 5631, 1997. Paper and Board Determination of Colour (C/2°) Diffuse Reflectance Method.
- [12] E. Peşman, *Atık Gazete ve Magazin Kâğıtlarının Mürekkep Uzaklaştırma ve Ağartma Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon-Türkiye, (2010).

- [13]S. Karahan, *Ultrasonik Enerji ve Enzim Kullanımının Lazer Baskılı Ofis Kâğıtlarından Yüzdürme Esaslı Mürekkep Giderme İşlemi Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş-Türkiye, (2012).
- [14] A. Fricker, A. Manning, R. Thompson, Deinking of Indigo Prints Using Hight-Intensity Ultrasound: *Surface Coatings International Part B-Coatings Transactions*, **89 (2)** (2006) 145-155.
- [15] A. Fricker, R. Thompson, A. Manning, Novel Solution to New Problems in Paper Deinking: *Pigment & Resin Technology*, **36 (3)** (2007) 141-152.
- [16] J.M. Won, Deinking of White Ledger with Ultrasonic Wave, Laboratory Scale Trial: *Journal of Frost Science* **23(2)** (2007) 73-78.
- [17] A.C. Gaquere-Parker, A. Ahmed, T. Isola, B. Marong, C. Shacklady, P. Tchouma, Temperature Effect on an Ultrasount- Assisted Paper De- Inking Proce: *Ultrasonics Sonochemistry*, **16 (5)** (2009) 698-703.