

Kâğıt Üretiminde Bakteriyel Selüloz Katkısının Dolgu Maddesi Tutunumuna Etkisi

Bora GÖKTÜRK¹, Evren ERSOY KALYONCU^{2*}, Emrah PEŞMAN¹

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, TÜRKİYE

² Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Arsin Meslek Yüksekokulu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: eersoy@ktu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 12.08.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 04.10.2023

ÖZ

Dünyada en çok tüketilen malzeme olan kâğıt üretiminde, gelişen baskı teknolojisi ile baskı kalitesini ve yüzey düzgünlüğünü geliştirmeye yönelik artan taleplere bağlı olarak dolgu maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bitkisel selüloza kıyasla birçok üstün özellikleri olan ve birçok farklı endüstri alanında giderek artan kullanım alanı bulan bakteriyel selüloz (BS)'un çöktürülmüş kalsiyum karbonat (PCC) için tutundurucu etkinliği, tek başına ve ilave tutundurucu madde olarak katyonik poliakrilamid (KPAM) ile beraber araştırılmıştır. BS %5, %10 ve %15 oranlarında, kalsiyum karbonat %30 ve KPAM ise %0,02 oranlarında kullanılmıştır. Tutunumun tespiti için, süzüntü suyunun absorbanı ve üretilen kâğıdın inorganik madde miktarının belirlenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca kâğıtların mekaniksel ve fiziksel özellikleri de tespit edilmiştir. En yüksek tutunmanın KPAM'in tek kullanımı ile elde edildiği, BS'nin kalsiyum karbonat tutunumunda tek başına sınırlı etki gösterdiği ancak kâğıtların sağlamlık özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir. Dolgu maddesi tutunumu ile oluşan direnç kayıplarının BS etkisi ile önlenildiği, bunun için de %10 BS'nin yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel selüloz, Tutunum, Selüloz, CaCO₃, PCC, KPAM

The Effect of Bacterial Cellulose Used as an Additive in Paper Production on Filler Retention

ABSTRACT

In paper production, which is the most consumed material in the world, fillers are widely used due to the increasing demands for improving the printing quality and surface smoothness with the developing printing technology. In this study, the binding efficiency of bacterial cellulose (BS), which has many superior properties compared to natural plant cellulose and is increasingly used in many different industrial areas, for precipitated calcium carbonate (PCC) was investigated alone and together with cationic polyacrylamide (CPAM) as an additional binder. BS was used at the rates of 5%, 10% and 15%, PCC at 30% and CPAM at 0.02%. The absorbance of the permeate water and the determination of the amount of inorganic matter of the produced paper were used to determine the sequestration. In addition, the mechanical and physical properties of the papers were determined. It was determined that the highest adhesion was obtained with a single use of CPAM, and BS alone had a limited effect on PCC adhesion, but increased the strength properties of the papers. It has been concluded that the loss of resistance caused by the adhesion of the filler can be prevented by the effect of BS, and 10% BS is sufficient for this.

Keywords: Bacterial cellulose, Retention, Cellulose, CaCO₃, PCC, CPAM

Cite as;

Göktürk, B., Ersoy Kalyoncu, E., Peşman, A. (2023). Kâğıt üretiminde bakteriyel selüloz katkısının dolgu maddesi tutunumuna etkisi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 97-108. DOI: 10.53501/rteufemud.1341933

1. Giriş

Kâğıt dünyada en çok tüketilen bir malzemedir ve tüketim oranları bir ülkenin kalkınmışlık düzeyini göstermektedir. Kâğıt lif, çeşitli kırıntı materyaller, organik ve inorganik dolgu maddeleri, boyutlandırma, sağlamlık ve tutunum amacıyla kullanılan çeşitli doğal veya sentetik polimerler ve diğer ilave maddeler gibi biyolojik, organik, sentetik ve inorganik maddelerin bileşiminden oluşan kompozit bir malzemedir (Gess, 1998; Ondaral, 2004; Tutuş ve Çelik, 2010).

Tutunumunun iyi olması, yüksek beyazlık sağlaması, suda çözünmemesi ya da çok az çözünmesi, kimyasal yönden aktif olmaması ve ucuz olması bir dolgu maddesinde aranan en önemli özelliklerdir (Harben, 1998; Erkan ve Malayoğlu, 2001). Kâğıt yüzey düzgünlüğünü, formasyonu sağlaması ve mürekkep emme özelliğinin geliştirmesi ise dolgu maddesinin kâğıda kazandırdığı en faydalı özellikler olarak söylenebilir. Ancak dolgu maddelerinin lif-lif arasındaki bağ oluşumunu engellemesi ve bu durumun kağıt direnç özelliklerinde azalmalar oluşturması (Haller vd., 2001) nedeniyle kağıt üretimi sırasında kullanılan dolgu maddesi oranı dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır.

Su tüketiminin yoğun olduğu kâğıt endüstrisinde tüketimi azaltmak amacıyla kapalı devre sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde dolgu maddesinin tutunması ve elek altı suyun kalitesi oldukça önemlidir (Karademir vd., 2013). Bazı yardımcı kimyasalların kullanımı ile kâğıt süspansiyonu içerisindeki küçük tanecikli bileşenlerin elek üzerinde tutunumunu ve kâğıt içerisinde homojen dağılımını sağlamak oldukça önemlidir (Holmberg, 1999; Pokhrel ve Viraraghavan, 2004). Bu nedenle kağıt üretiminde tutunmayı arttırıcı çeşitli kimyasalların kullanım oranı giderek artmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2004; Karademir vd., 2005; Karademir vd., 2013).

Bakteriyel selülozun (BS) oldukça iyi mekanik özelliklere sahip olması, çevre dostu işleme özellikleri, düşük üretim maliyetleri, hidrofilik özelliği, mükemmel biyouyumluluk ve

biyodegradasyon özellikleri nedeniyle oldukça ilgi çekici ve umut vaat edici bir polimerdir (Gao vd., 2019; Ullah vd., 2016; Abol-Fotouh vd., 2020). BS'un katkı maddesi olarak katıldığı kağıtların daha elastik ve geçirgen olduğu, su absorplama özelliğinin, yırtılmaya ve yanmaya karşı direnç özelliklerinin arttığı ayrıca renklendirici maddeleri ve dolgu maddelerini daha iyi absorpladığı belirtilmiştir (Iguchi vd., 1988; Güzel ve Akpınar, 2018).

Tüm dünyada, en çok tercih edilen CaCO_3 'ün sahip olduğu olumlu özellikler çeşitli yöntemler ile daha da geliştirilmiştir. Geliştirilen sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonatlar (PCC) ile yüksek beyazlık, parlaklık ve opaklıkta kaliteli kâğıtlar üretilmiş ancak küçük tanecik boyutları nedeniyle selüloz liflerinde tutunumunu sağlamak için çeşitli kimyasalların kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Kâğıt üretiminde üretimi iyileştirici ve ürün geliştirici katkı maddeleri kullanılmaktadır. (Sözbir, 2015).

Bu çalışmada BS'nin, en yaygın dolgu maddesi olarak kullanılan çöktürülmüş kalsiyum karbonat (CaCO_3) için tutundurucu etkinliği, tek başına ve ilave tutundurucu madde olarak katyonik poliakrilamid (KPAM) ile beraber araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

İğne yapraklı ağaçlardan kimyasal metotlarla üretilmiş ve ağartılmış hazır birincil selüloz tabakaları hammadde olarak, biyosentez yoluyla üretilen BS katkı maddesi olarak, ticari çöktürülmüş kalsiyum karbonat (CaCO_3) (PCC Snowflake) dolgu maddesi olarak ve katyonik poliakrilamid (KPAM) Fennopol™ K 4230 T (Kemira (Tayland) Co., Ltd., Bangkok, Tayland) tutundurucu olarak kullanılmıştır.

2.2 Metot

2.2.1 Hamurlaştırma İşlemi

Hamurlaştırma işlemi için küçük parçalar haline getirilen selüloz tabakaları yaklaşık 12 saat boyunca su içinde ıslatıldıktan sonra homojen bir

kâğıt hamuru oluşturmak amacıyla laboratuvar tipi bir disintegratörde 3000 rpm hızda 25 dakika boyunca liflerin açılması işlemi yapılmıştır.

2.2.2 Bakteriyel Selüloz ve Dolgu Maddesinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan BS, ticari tedarikçilerden elde edilen simbiyotik bakteri ve maya kültürü (SCOPY) kullanılarak hazırlanan besi suyu ortamında uygun şartlar altında 15 günlük fermentasyon işlemi ile üretilmiştir. Fermentasyon periyodunun sonunda besi suyu ortamının yüzeyinde oluşan yaklaşık 1 cm kalınlığında jel film şeklindeki BS biyokütlesini saflaştırmak amacıyla sırasıyla alkol, su ve 0,1 M NaOH çözeltisi ile pH'ı yaklaşık 7,0'a ulaşıncaya kadar kaynatma ve yıkama işlemleri yapılmıştır. Saflaştırılan BS jel filmlerini saçaklanarak bağ yapmasını kolaylaştırmak amacı ile selüloz lif demetlerini ayırmak ve hamur süspansiyonu ile homojen şekilde karışmasını sağlamak için homojenizatörde (Silent Crusher Homojenizatör, Heidolph, Schwabach, Almanya), 25000 rpm'lik karıştırma hızı ile 5 dakika boyunca işleme tabi tutularak topaksız bir karışım haline getirilmiştir. Bu yöntem ile BS molekül zinciri üzerindeki hidroksil gruplarının açığa çıkarılması sağlanmış, selüloz lifleri ile BS lifleri arasında hidrojen bağı oluşturma kapasitesi arttırılmıştır (Yuan vd., 2016). Elde edilen BS lif süspansiyonunun katı madde oranı tespit edilerek konsantrasyonu belirlenmiştir. Dolgu maddesi olarak kullanılan CaCO₃ için %34'lük bir süspansiyon hazırlanmıştır.

2.2.3 Deney Planı

Tablo 1'de çalışmanın deney planı yer almaktadır. Çalışma kapsamında lif süspansiyonuna BS ilavesi, BS ile birlikte dolgu maddesi ilavesi, BS

ve KPAM ilavesi ve BS, dolgu maddesi ve KPAM ilavesi araştırılmıştır. Lif süspansiyonuna katkı maddeleri sırasıyla dolgu maddesi, BS ve KPAM olarak ilave edilmiştir.

2.2.4. Test Kâğıtlarının Üretimi ve Karakterizasyonu

Test kâğıtlarının yapılması için Tappi T 205 sp-12 (2002) standartına göre Frank'ın Rapid Köthen laboratuvar tipi test kâğıdı makinasında her bir uygulama için 10'ar adet yaklaşık 60 g/m² gramajda test kâğıtları hazırlanmıştır. Elde edilen test kâğıtları TAPPI T 402 om-93 (1993) standardına göre sıcaklığı 23±1 °C ve bağıl nemi %50±2 olan klima odasında 24 saat kondisyonlanmıştır. Kâğıtların çekme, patlama ve yırtılma dirençleri sırasıyla Tappi standartları T494 om-13, T403 om-15 ve T414 om-12 test yöntemlerine göre belirlenmiştir.

Test kâğıtlarının ISO parlaklık değerleri ISO/DIS 2470 (2016) standardına uygun olacak şekilde ölçülmüştür. *L**, *a**, *b** değerlerini veren renk değerleri, Tappi T527-om 19'a göre bir UV filtresi kullanılarak bir UV spektrometresi (Konica-Minolta CM-2600d, Osaka, Japonya) ile ölçülmüştür.

Test kâğıtlarının yapısal değişimlerini belirlemek amacıyla FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflectance) spektrumları incelenmiştir. Bu amaçla ölçümler Shimadzu IR Prestige-21 cihazında Pike Miracle ATR aparatı kullanılarak kullanılarak 4000-600 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında 16 cm⁻¹ çözünürlükte 18 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Özellikle kalsiyum karbonat ile ilgili 872 cm⁻¹ ve 1426 cm⁻¹ bandları özellikle incelenmiştir. Spektrumlar absorbans olarak ölçülmüştür.

Tablo 1. Deney planı

Table 1. Experimental plan

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CaCO ₃ *	-	-	-	-	30	30	30	30	-	-	-	30	30	30	30	30
BS, %	-	5	10	15	-	5	10	15	5	10	15	-	5	10	15	15
KPAM, %	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04

* %34'lük CaCO₃ çözeltisi, BS: Bakteriyel Selüloz, KPAM: Katyonik Poliakrilamid, CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

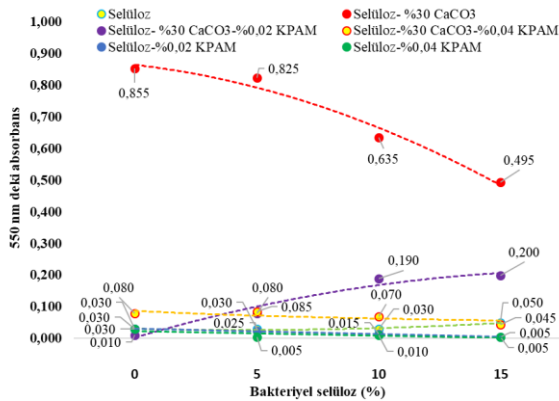
Hamur lif süspansiyona eklenen kalsiyum karbonat tutunumunu ve BS, KPAM'ın etkilerini belirlemek amacıyla Schopper–Riegler test cihazı kullanılarak elde edilen süzüntü suyunun bulanıklılık testi için, Shimadzu 1800 UV cihazı kullanılarak 550 nm dalga boyunda suya göre absorbans değerleri belirlenmiştir. Ayrıca inorganik madde miktarlarının belirlenmesi için kâğıt örnekleri TAPPI T211 om-02 test metoduna göre kül fırınında $525\pm 25^\circ\text{C}$ de bir gün süre ile yakılmıştır.

Kâğıtların su absorpsiyon (g/m^2) kapasitesi, Cobb test cihazı ile TAPPI standardı T441 om-13 (2013) uyarınca belirlenmiş ve sonuçlar her örnek için 3 ölçümün ortalaması olarak rapor edilmiştir. Kâğıt numunelerinin hava direncini ($\text{s}/100 \text{ mL}$) ölçmek için Gurley porozimetresi kullanılarak TAPPI standardı T460 om-02 (2006)'ya uygun şekilde ölçüm yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Süzüntü Suyuna Göre Dolgu Maddesinin Tutunması

Şekil 1'de BS ve KPAM katkısının dolgu maddesi tutunumuna etkisini belirleyebilmek için süzüntü suyunun 550 nm de ölçülen absorbans değerlerindeki değişim görülmektedir.



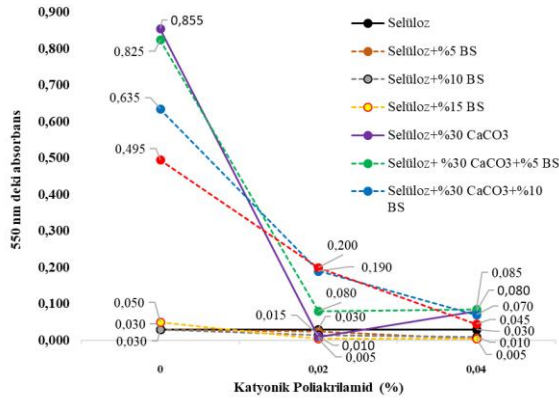
Şekil 1. BS'un, işlem sonrası süzüntü suyundan ölçülen absorbans değeri üzerine etkisi

Figure 1. Effect of BC on absorbance value measured from treated filtrate water

Süzüntü suyunun absorbans değerinin azalması, suyun berraklığının arttığını yani su içerisinde bulunan dolgu maddesi ve BS miktarının

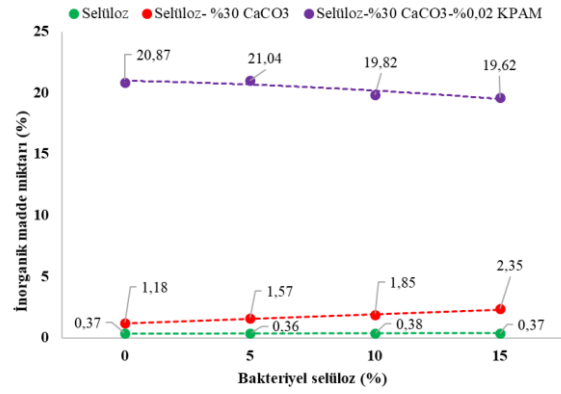
azaldığını, dolgu maddesi ve BS'un kâğıt lifleri üzerine tutunduğunu göstermektedir. Grafikten de görüldüğü üzere; %0 BS'da, KPAM ilavesi olmaksızın dolgu maddesi kullanımı ile süzüntü suyunun absorbans değerinin arttığı, diğer bir deyişle suyun berraklığının azaldığı, dolayısıyla da selüloz liflerindeki kalsiyum karbonat tutunmasının azaldığı belirlenmiştir. Kimyasal açıdan bunun temel sebebi, selüloz liflerinin ve kalsiyum karbonatın benzer yük yoğunluğuna yani anyonik karaktere sahip olması olarak gösterilebilir. Bununla birlikte, KPAM ilavesi olmaksızın artan BS oranına bağlı olarak süzüntü suyunun absorbans değerinin azaldığı, %15 BS oranı ile absorbans değerinin 0,855'ten 0,495'e düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, kimyasal bir bağlanma olmaksızın BS'un ağsı yapısı sayesinde kalsiyum karbonatın lifler arasındaki boşluklarda fiziksel olarak hapsedilmesi şeklinde açıklanabilir. Ersoy Kalyoncu ve Peşman (2020) yaptıkları çalışmada, atık ofis kâğıtları ile yaptıkları çalışmada BS'un dolgu maddelerinin ortamdaki uzaklaşmasını engellediğini belirlemişlerdir. BS miktarının artışı ile hava direnci, su absorpsiyonu ve kâğıtların kül tayini değerlerinde görülen iyileşmeler de, BS'un dolgu maddesi tutunmasına katkı sağlaması yönündeki bulgulara destekleyici olmuştur. Bununla birlikte BS'un, tek başına KPAM kadar etkili olmadığı da gözlemlenmiştir. %0,02 oranında KPAM kullanıldığında absorbans değerinin artan BS oranıyla birlikte artmakta olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni KPAM'in hem kalsiyum karbonat hem de BS tarafından tüketilmesi olabilir. Bu nedenle KPAM birlikte kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Şekil 2'de tutundurucu olarak kullanılan KPAM'in, süzüntü sularının 550 nm'deki absorbans değeri üzerine etkisi görülmektedir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi BS tutundurucu kimyasalın etkisini arttırmak yerine azaltmaktadır. BS içermeyen kâğıtların süzüntü suyunda absorbans %0,02 KPAM ile 0,015 olarak ölçülürken %10 ve %15 BS kullanımı ile bu değer sırasıyla 0,19 ve 0,20'ye kadar artmıştır. Arada oluşan fark, BS'un KPAM ile lifler üzerine daha iyi tutunduğunu göstermekte ve bir miktar dolgu maddesinin bu nedenle süzüntüye geçmesinden kaynaklanmıştır.

olabileceği düşünülmektedir. KPAM oranı %0,04'e çıkarıldığında absorbans değeri %15 BS ile 0,045'e kadar düşmektedir. Bu sonuçtan her iki katkı maddesinin kullanılabilirliği için iyi bir optimizasyon yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

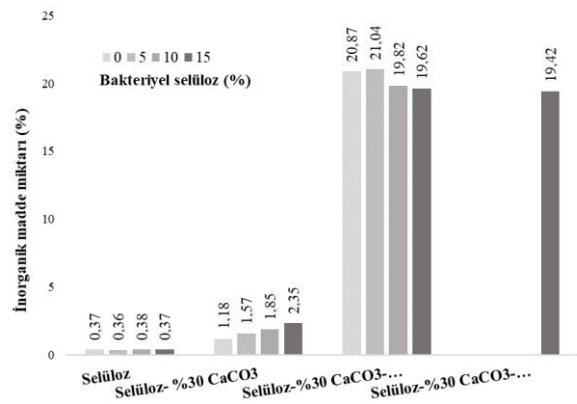


Şekil 2. Tutundurucu oranının, süzüntü suyun 550nm deki absorbans değerine etkisi
Figure 2. The effect of the adsorptive ratio on the absorbance value of the filtrate water at 550nm

Şekil 3 ve 4'den görüldüğü gibi; CaCO₃ ve KPAM olmaksızın yalnızca BS takviyeli kâğıtlar beklendiği üzere oldukça az miktarda inorganik madde içermektedir. Bununla birlikte kalsiyum karbonat tutunması ile inorganik madde miktarında artış olmaktadır. Ortama tutundurucu olarak KPAM ilavesi olmadan %30 dolgu maddesi ilave edildiğinde artan BS'un dolgu maddesi tutunumunu arttırdığı fakat beklenenden daha düşük oranlarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun liflerin dövülmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Selüloza dolgu maddesi eklendiğinde oran %0,37'den ancak %1,18'e kadar artış göstermiştir. Bununla beraber %15 BS katkısı bu oranı %2,35'e kadar artırmıştır. Ortama KPAM ilavesi ile çok daha ilginç sonuçlar elde edilmiştir. BS'un tutunmayı olumsuz etkilediği grafikten görülmektedir. Bunun nedeninin BS'un KPAM ile etkileşime girmesi ve KPAM'i tüketmesi olarak düşünülebilir fakat KPAM oranı iki katına çıkarıldığı durumda da inorganik madde miktarının çok değişmediği tespit edilmiştir. Ölçüm yönteminin hata sınırları nedeniyle de etki tam olarak belirlenememiş olabilir.



Şekil 3. BS'un inorganik madde miktarına etkisi
Figure 3. The effect of BC on the amount of inorganic material

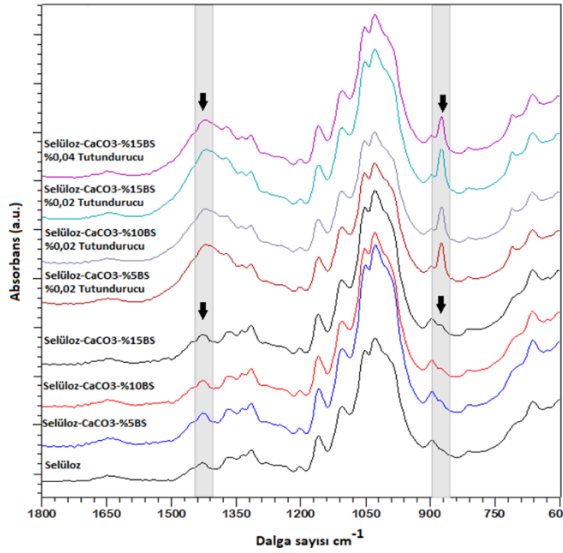


Şekil 4. Uygulanan işlemlerin inorganik madde miktarına etkisi
Figure 4. The effect of the applied processes on the amount of inorganic material

3.2. FTIR-ATR Spektrumlarına Göre Dolgu Maddesi Tutunması

Şekil 5'te çalışma kapsamında uygulanan tüm işlemler sonucu hazırlanan test kâğıtlarının FTIR-ATR spektrumları verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde 872 cm⁻¹ ve 1426 cm⁻¹ dalga boylarında, kalsiyum karbonat tutunmasına bağlı olarak pik yoğunluğunda önemli değişimler görülmektedir. Ersoy Kalyoncu ve Pesman (2020) atık ofis kâğıtlarının BS ile takviye edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada da bu dalga sayısındaki pik yoğunluğunun ortamdaki kalsiyum karbonat içeriği ile ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Spektrumlara bakıldığında hiçbir katkı içermeyen selülozun bu bantlardaki pik yoğunluğu selülozun karakteristik piklerinin üzerine çıkamamıştır. Ortama kalsiyum karbonat ilavesi ile KPAM olmaksızın BS ilavesi ile

birlikte 872 cm^{-1} ve 1426 cm^{-1} bandlarında pik yoğunluğunda net bir artış görülmektedir. Pik yoğunluğu artan BS oranıyla daha da artmaktadır. Bununla beraber tutundurucu olarak KPAM katkısı olmadan dövme işlemine uğratılmayan selülozun dolgu maddesini istenilen ölçüde bünyesinde tutunamadığı da oldukça net bir şekilde görülmektedir. Ersoy Kalyoncu ve Pesman'ın (2020) atık kâğıtlar ile yaptıkları daha önceki çalışmada FTIR-ATR sonuçlarına göre KPAM kullanılmadığı durumda daha fazla miktarda dolgu maddesi ortamda kalmıştır. Bunun nedeninin dövülmüş, hidratlanmış ve daha fazla saçaklanmış selüloz liflerinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. İşlem kâğıtlarının FTIR-ATR spektrumları

Figure 5. FTIR-ATR spectra of treated test papers

Kalsiyum karbonat içeriğinin % 0,02 lik KPAM ile önemli derecede arttığı görülmektedir. Bu artışta FTIR-ATR sonuçlarına göre KPAM kullanıldığı durumda BS'un etkisinin çok fazla olmadığı söylenebilir. Fakat bu sonucun diğer ölçüm yöntemleri ile de desteklenmesi önemlidir.

3.3. Mekanik Özellikler

Kopma direnci lifler arası bağların dayanımını tahmin etmek amacıyla kullanılan önemli bir parametredir (Koubaa ve Koran 1995; Niskanen vd., 1999; Forsström vd., 2005; Johansson, 2011).

Tablo 2 incelendiğinde tüm prosesler için artırılan BS'un kâğıtların kopma direncini arttırarak olumlu etkide bulunduğu görülmüştür. Hiçbir dolgu ve KPAM ilave edilmeyen örneklerde %15 BS ile kopma indeksi değeri $26,12\text{ N.m/g}$ olarak elde edilerek 6 birim kadar artış göstermiştir. KPAM ilavesi BS'un lifler üzerine daha iyi tutunmasını sağlamış, kopma indeksi $26,78\text{ N.m/g}$ 'a kadar arttırmıştır. Bu artış direnç özellikleri açısından oldukça önemli bir gelişmedir.

Bununla birlikte kağıt üretiminde baskı özelliklerinin geliştirilmesi ve ekonomik nedenlerden dolayı dolgu maddesi kullanımı da rutin bir uygulama olmasına rağmen tablodan görüldüğü üzere dolgu maddesi ilavesi ile kopma indeksinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Dolgu maddesi içeriği bilindiği gibi kopma direncinde azalışa neden olmaktadır (Brown, 1996). Bu azalış, lifler arası bağların dolgu maddelerinin bloke etkisinden kaynaklanmaktadır (Al-Mehbad, 2004; Hubbe ve Gill, 2016). KPAM ilaveli kâğıtlarda, BS takviyesi olmadan elde edilen kopma indeksi $12,44\text{ N.m/g}$ iken, % 10 BS ilavesi ile $16,43\text{ N.m/g}$ 'a kadar artırılabilmiştir. Bir başka ifade ile dolgu maddesi tutunumunun maksimum olduğu örneklerde kontrole göre BS kullanılmadığında $8,21\text{ N.m/g}$ kadar olan kopma indeksindeki direnç kaybı %10 BS kullanımı ile $4,22\text{ N.m/g}$ kadar yarı yarıya azaltılmıştır. Atık kâğıtlar ile yapılan çalışmada da dolgu maddesinin neden olduğu direnç kayıplarının BS ilavesiyle azaldığı tespit edilmiştir (Ersoy Kalyoncu ve Pesman, 2020).

BS'un tüm örneklerin yırtılma direncini %10 oranına kadar arttırmıştır. Bununla birlikte dolgu maddesi ise yırtılma direncini azaltmıştır. Dolgu maddesi içermeyen kâğıtlarda %15 oranında BS ilavesi ile yırtılma direnci $648,24\text{ mNg/m}^2$ den $772,20\text{ mNg/m}^2$ 'ye çıkmıştır. Bununla birlikte BS içermeyen kontrol örneklerinde dolgu maddesi tutunumunun artması ile yırtılma direncinin $648,24\text{ mNg/m}^2$ den $567,67\text{ mNg/m}^2$ ye düştüğü tespit edilmiştir.

Tablo 2. Test kâğıtlarının mekanik direnç özellikleri
Table 2. Mechanical properties of test papers

	BS (%)	Selüloz	Selüloz + %0,02KPAM	Selüloz + %30 CaCO ₃	Selüloz + %30 CaCO ₃ + %0,02KPAM	Selüloz + %30 CaCO ₃ + %0,04KPAM
Kopma İndeksi (N.m/g)	0	20,65±1,93	-	19,14±1,97	12,44±0,64	-
	5	23,31±1,59	24,54±1,44	19,97±1,49	14,83±1,76	-
	10	24,15±1,06	25,43±2,24	21,22±1,27	16,43±1,46	-
	15	26,12±2,28	26,78±1,67	21,29±1,34	15,36±0,97	14,80±0,90
Yırtılma İndeksi (mNm ² /g)	0	648,24±176,67	-	637,38±152,97	567,67±32,47	-
	5	683,89±50,45	740,43±19,19	722,41±23,01	686,40±236,77	-
	10	746,37±94,44	758,18±16,77	779,28±141,19	843,75±36,14	-
	15	772,20±124,08	755,46±41,12	758,21±118,64	822,62±60,82	874,48±26,38
Patlama İndeksi (kPa.m ² /g)	0	2,40±0,08	-	2,43±0,05	2,33±0,05	-
	5	2,28±0,04	2,38±0,07	2,38±0,05	2,39±0,00	-
	10	2,30±0,00	2,26±0,11	2,38±0,05	2,40±0,01	-
	15	2,32±0,03	2,28±0,04	2,39±0,07	2,40±0,00	2,40±0,00

Tüm veriler ortalama ± Std (Standat sapma) olarak verilmiştir. BS: Bakteriye Selüloz, KPAM: Katyonik Poliakrilamid, CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

Bununla birlikte kağıt üretiminde baskı özelliklerinin geliştirilmesi ve ekonomik nedenlerden dolayı dolgu maddesi kullanımı da rutin bir uygulama olmasına rağmen tablodan görüldüğü üzere dolgu maddesi ilavesi ile kopma indeksinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Dolgu maddesi içeriği bilindiği gibi kopma direncinde azalışa neden olmaktadır (Brown, 1996). Bu azalış, lifler arası bağların dolgu maddelerinin bloke etkisinden kaynaklanmaktadır (Al-Mehbad, 2004; Hubbe ve Gill, 2016). KPAM ilaveli kağıtlarda, BS takviyesi olmadan elde edilen kopma indeksi 12,44 N.m/g iken, %10 BS ilavesi ile 16,43 N.m/g'a kadar artırılabilmiştir. Bir başka ifade ile dolgu maddesi tutunumunun maksimum olduğu örneklerde kontrole göre BS kullanılmadığında 8,21 N.m/g kadar olan kopma indeksindeki direnç kaybı %10 BS kullanımı ile 4,22 N.m/g kadar yarı yarıya azaltılmıştır. Atık kağıtlar ile yapılan çalışmada da dolgu maddesinin neden olduğu direnç kayıplarının BS ilavesiyle azaldığı tespit edilmiştir (Ersoy Kalyoncu ve Pesman, 2020).

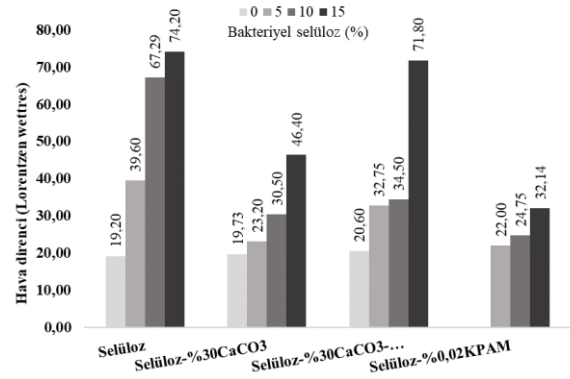
BS'un tüm örneklerin yırtılma direncini %10 oranına kadar arttırmıştır. Bununla birlikte dolgu maddesi ise yırtılma direncini azaltmaktadır. Dolgu maddesi içermeyen kağıtlarda %15 oranında BS ilavesi ile yırtılma direnci 648,24 mNg/m²'den 772,20 mNg/m²'ye çıkmıştır. Bununla birlikte BS içermeyen kontrol örneklerinde dolgu maddesi tutunumunun artması ile yırtılma direncinin 648,24 mNg/m²'den 567,67 mNg/m²'ye düştüğü tespit edilmiştir.

Atık ofis kağıtları ile yapılan benzer bir çalışmada (Ersoy Kalyoncu ve Pesman, 2020) BS ilavesi ile yırtılma direncinde azalış belirlenirken bu çalışmada artış tespit edilmiştir. Bu artışın işlemler öncesinde selülözün dövülmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Yırtılma direnci bilindiği gibi dövme işlemi ile belirli bir orana kadar artmakta fakat dövme işleminin ilerlemesi ile de hızla azalmaktadır. Bu çalışmada selüloz hiç dövülmediği için, çok ince fibrillere sahip BS'un %10 oranına kadar ilave edilmesiyle birlikte yırtılma direncini artırdığı fakat artan miktarla birlikte tekrar azalışa geçtiği düşünülmektedir.

Test örneklerinin patlama direncine ait sonuçlar değerlendirilecek olursa, tablodan da görüldüğü üzere BS oranındaki artış patlama direncinde önemli bir artışa neden olmamaktadır. Bununla birlikte dolgu maddesi tutunumunun artması ile patlama direncinde kayıp oluşmadığı da tespit edilmiştir. Patlama indeksinin $2,26 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ ile $2,40 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ arasında dalgalandığı bir diğer ifade ile uygulanan işlemlerden fazlaca etkilenmediği görülmüştür. Ersoy Kalyoncu ve Pesman (2020) atık ofis kağıtları ile ilgili yaptıkları çalışmada patlama direncinin BS ilavesinden fazlaca etkilenmediği tespit edilmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda tüm direnç özelliklerinde meydana gelebilen artışların BS ilavesi ile artan yoğunluk ile ilişkilendirilebilir (Gao vd., 2011; Tabarsa vd., 2017; Campano vd., 2018).

3.4. Fiziksel Özellikler

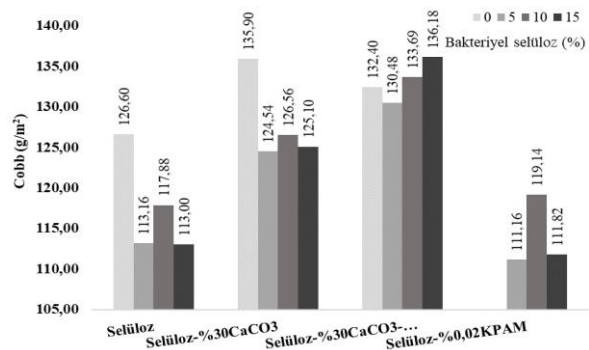
Uygulanan işlemlerin hava direnci üzerine etkisi Şekil 6'da görülmektedir. Artırılan BS oranı ile hava direncinin artmış, bir diğer ifade ile hava geçirgenliği azalmıştır. İlave edilen BS ile liflerin artan iç bağlanması sonucu lifler arası boşlukların daralması sonucu hava geçirgenliğine karşı direnç oluşumu görülür (Fendler vd. 2007; Gao vd. 2011; Yousefi vd. 2013; Santos vd. 2017; Tabarsa vd. 2017). Katkı içermeyen selüloz örneklerinde %15 BS takviyesi ile hava direncinin 19,20 birimden 74,20 birime kadar neredeyse 4 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Benzer hatta daha yüksek hava direnci sonuçlarını Ersoy Kalyoncu ve Pesman (2020) da tespit etmiştir. Yousefi vd. (2013) BS ile yapılan kâğıtların hava geçirgenliklerinin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, grafikten kalsiyum karbonat ve KPAM ilavesi ile hava geçirgenliğini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 6. Uygulanan işlemlerin hava direnci üzerine etkisi

Figure 6. Effect of applied processes on air resistance

BS katkısının su geçirgenliği üzerine etkisi Şekil 7'de görüldüğü üzere dalgalı bir trend izlemiştir. Tüm uygulamalar için test kâğıtlarının Cobb değerleri kontrole göre %5 BS takviyesi ile azalmış, %10 BS oranı ile artmış ve %15 BS oranı ile tekrar azalmıştır. Bunun nedeni olarak %5 oranındaki BS'un lifler arası boşlukları doldurması ile test kâğıdının su absorblama kapasitesinin azalması, %10 BS oranı ile su ile bağ yapabilecek selüloz miktarının daha da artması ve %15 BS oranı ile mevcut boşluklarının yine dolması sonucu su absorblama kapasitesinin azalması olarak yorumlanabilir. Bu durum artan dolgu maddesi oranı için aynı olmaz. Dolgu maddesi tutunumunun artışı ile birlikte BS'un tüm oranları için absorblanan su miktarının arttığı yani su geçirgenliğinin azalış gösterdiği Şekil 7'den görülmektedir. Bu durum doğrudan kalsiyum karbonatın su absorblama kapasitesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Uygulanan işlemlerin Cobb değerlerine etkisi

Figure 7. The effect of the applied processes on the Cobb values

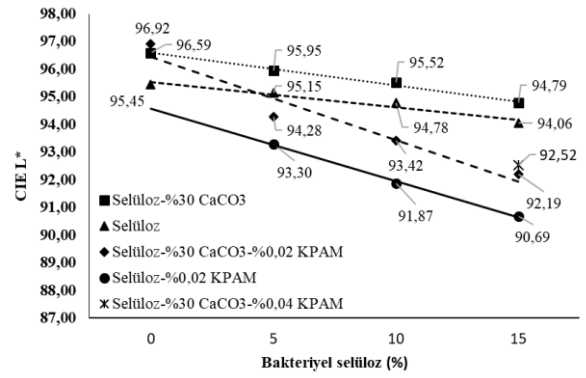
3.5. Optik Özellikler

Çalışma kapsamında test kâğıtlarının ISO parlaklık değerleri, $L^*a^*b^*$ renk değerleri belirlenmiştir. Dolgu maddesi bilindiği gibi kâğıt üretiminde parlaklık ve baskı özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte BS ağartma işlemine uğratılmadığı için besi ortamından kaynaklı sarımtırak bir renk içermektedir. Bu bakımdan her iki katkının tutunması ile ilgili renk değerleri önemli veriler sunmaktadır.

Test kâğıtlarının parlaklık değerlerine ait veriler Tablo 3’de verilmiştir. BS ilavesiyle birlikte parlaklık değerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni BS hazırlama prosesi sırasında çay ekstraktı kullanılması ve BS’un fenolik bileşenlerden dolayı koyu sarı renkte olmasıdır. Bu bulgular irdelendiğinde BS’un selüloz liflerine tutunumunun beklenildiği kadar olmadığı anlaşılmaktadır. Hiçbir katkı olmadan eklenen %15 lik BS ile parlaklık değeri %85,44’den %81,54’e gerilerken %0,02 KPAM kullanıldığında parlaklık %85,12’den %70,29’a kadar düşmüştür. Dolgu maddesi kullanımıyla birlikte parlaklık değeri %15 BS oranında %70,29’dan %75,73’e çıkmıştır.

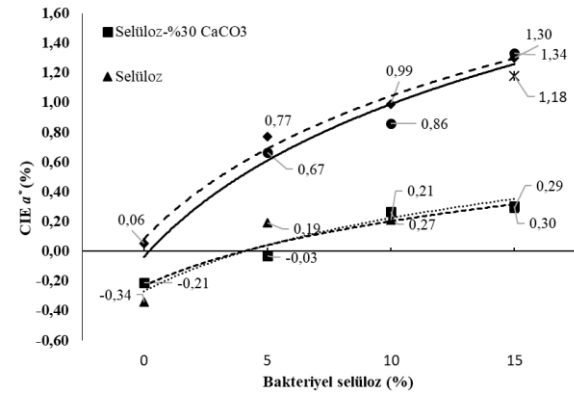
CIE L^* değeri bilindiği gibi üçlü renk sisteminde aydınlık oranını belirtmektedir ve 0-100 arasında parlaklıkla benzer oranlarda değerler sunmaktadır. Şekil 8’deki CIE L^* değeri de ISO parlaklık değerine benzer şekilde gelişmiştir.

Şekil 9 CIE a^* ve Şekil 10 CIE b^* renk değerlerini göstermektedir. CIE a^* pozitif ekseninde kırmızı rengi negatif ekseninde ise yeşil rengi belirtmektedir. Şekil 9 incelendiğinde BS’un artan oranları ile a^* değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Önemli bulgulardan birisi kalsiyum karbonat dolgu maddesinin etkisinin bu artışta çok etkili olmamış olmasıdır. Bu nedenle CIE a^* değerindeki değişim BS’un lifler üzerine tutunumu hakkında bize önemli bilgiler sunabilmektedir.



Şekil 81. BS’un test kâğıtlarının CIE L^* değeri üzerine etkisi

Figure 8. The effect of BC on CIE L^* values of test papers



Şekil 92. BS’un test kâğıtlarının CIE a^* değeri üzerine etkisi

Figure 9. The effect of BC on CIE a^* values of test papers

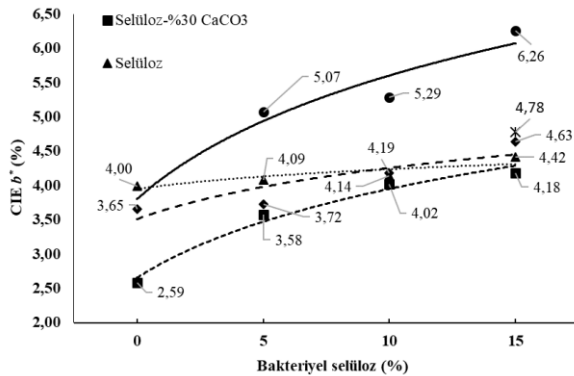
Şekil 9’deki grafikten görüldüğü gibi katkı içermeyen selülozün CIE a^* değeri -0,34 iken bu değer %15 BS ilavesi ile 0,29’a çıkmıştır. Ortama sadece farklı olarak kalsiyum karbonat eklendiğinde bu değer -0,21’den %15 BS ile 0,30’a çıkmıştır. Sadece KPAM ilave edildiğinde BS ilave edilmeyen örneklerin CIE a^* değeri 0,05 iken %15 BS ilavesi ile 1,30’a çıkmıştır. Dolgu maddesi ilavesi ile bu değerler sıfır BS’da 0,06 ve %15 BS’da 1,34 olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu verilere göre BS’un tek başına selüloz lifleri üzerine tutunmada çok başarılı olmadığı ortama KPAM ilavesiyle lif üzerine tutunumunun çok daha yüksek seviyelerde olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Test kâğıtlarının ISO Parlaklık değerleri**Table 3. ISO Brightness values of test papers**

	%0 BS	%5 BS	%10 BS	%15 BS
Selüloz	85,44±0,18	83,91±0,41	81,71±0,14	81,54±0,64
Selüloz + %0,02 KPAM	-	77,75±0,07	73,98±0,35	70,29±0,20
Selüloz + %30 CaCO ₃	86,18±0,17	84,70±0,15	83,59±0,14	82,02±0,09
Selüloz + %30 CaCO ₃ + %0,02 KPAM	87,36±0,22	81,27±0,39	78,78±0,24	75,73±0,26
Selüloz + %30 CaCO ₃ + %0,04 KPAM	-	-	-	76,17±0,18

Tüm veriler ortalama ± Std (Standat sapma) olarak verilmiştir. BS: Bakteriyel Selüloz, KPAM: Katyonik Poliakrilamid, CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

Şekil 10'da BS ve dolgu maddesi tutunumunun CIE b^* renk değeri üzerine etkisi görülmektedir. Bu değer negatif ekseninde mavi, pozitif ekseninde ise sarı renge işaret etmektedir. BS'un sarı renginden dolayı bu değer de BS tutunumu hakkında önemli veriler sunmaktadır. Kontrol örneğinde 2,59 olan sarı renk sadece %15 BS ilavesi ile 4,18'e iki kat artmıştır. Ortama KPAM ilavesi ile BS yanında çayın içerdiği fenolik kökenli bileşenler de lifler üzerine tutunmuş ve sarılık değeri CIE b^* , %15 BS'da 6,26'ya kadar çıkmıştır. Dolgu maddesi ve KPAM ilavesi ile bu değer %15 BS takviyesinde 4,64 civarında tutulmuştur.



Şekil 10. BS'un test kâğıtlarının CIE b^* değeri üzerine etkisi

Figure 10. The effect of BC on CIE b^* values of test papers

4. Sonuç ve Öneriler

Katkı maddesi kullanılmadan BS'un dolgu maddesi tutunmasındaki tek başına etkinliğinin ve KPAM ile etkileşiminin araştırılması sonucu elde edilen sonuçlara göre;

- BS tek kullanıldığında kalsiyum karbonatı sınırlı ölçüde tutundurduğu tespit edilmiştir. Bu

sonucun ana hammadde olarak kullanılan selülozun işlem öncesinde dövme işlemine uğratılmamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Kalsiyum karbonat tutunumu için ortama ilave edilen KPAM ile kağıt üretiminde, BS kullanılmadığında tutunumunun en yüksek değerde olduğu, artan BS oranına bağlı olarak tutunumun azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak tutundurucu kimyasal olarak kullanılan KPAM'in bir kısmının BS'un tarafından tüketmesi sonucu olduğu düşünülmüştür.
- BS ve KPAM birlikte etkinliği araştırıldığında, sadece BS kullanılması sonucu elde edilen süzüntü suyunun bulanıklılığının, ve dolayısıyla süzüntü suyunun absorbans değerinin KPAM ilavesi ile azalmasının BS'dan kaynaklı renk ve benzer bileşenlerin KPAM ile selüloz liflerine daha etkili tutunması sonucu olduğu düşünülmüştür.
- Ortamda katkı maddesi olarak yalnızca BS kullanıldığı zaman, üretilen kâğıtların kopma direnci kontrole göre artış göstermiştir. Dolgu maddesi olmadan yalnızca KPAM katkısı ve ortama ilave edilen BS'un artış oranına bağlı olarak kopma direncinin de birimsel olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. BS kullanımının dolgu maddesinden kaynaklı direnç kayıplarını önlemede veya en aza indirmede etkili olduğu, kağıt üretiminde %10 oranında BS kullanımının yeterli olduğu belirlenmiştir.
- Yırtılma direncinin BS ilavesi ile arttığı, ancak oranın %15 in üzerine çıkması halinde bu direnç özelliğinin azaldığı gözlenmiştir.
- Patlama direnci ufak artış ve azalışlar dışında yapılan işlemlerden fazlaca etkilenmemiştir.

- BS ilavesi ile hava geçirgenliği azalmıştır. İlave edilen KPAM ile artan dolgu maddesi tutunumu sonucu hava direncinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Dolgu maddesi tutunumunun artışı ile su geçirgenlik değeri artmıştır.
- Optik özelliklerden parlaklık değeri BS'un tutunumunun artışı ile azalsa da dolgu maddesinin tutunumu ile bir miktar artmıştır.
- $L^*a^*b^*$ renk değerlerinden a^* değeri BS tutunumu ile paralel sonuçlar verirken, b^* değeri BS'nin sarı renginden kaynaklı bir miktar artış göstermiştir. L^* değeri ISO parlaklığı ile benzer sonuçları sunmuştur.

Yazar Katkısı

B. Göktürk: Araştırma, Görselleştirme, Yazma-İnceleme ve Düzenleme, Kaynaklar; **E. Ersoy Kalyoncu:** Metodoloji, Araştırma, Proje Yönetimi, Kavramsallaştırma, Biçimsel Analiz, Yazma-İnceleme ve Düzenleme; **E. Peşman:** Metodoloji, Araştırma, Proje Yönetimi, Biçimsel Analiz, Yazma-İnceleme ve Düzenleme

Kaynaklar

- Abol-Fotouh, D., Hassan, M.A., Shokry, H., Roig, A., Azab, M.S., Kashyout, A. E. H. B. (2020). Bacterial nanocellulose from agro-industrial wastes: Low-cost and enhanced production by *Komagataeibacter saccharivorans* MD1. *Scientific Reports*, 10(1), 3491. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60315-9>
- Al-Mehbad, N.Y. (2004). Improving paper properties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43(3), 963-979. <https://doi.org/10.1081/PPT-120038074>
- Brown, R. (1996). Physical and chemical aspects of the use of fillers in paper In: Paper Chemistry. p.194-230. (Ed: Roberts, J.C.). Dordrecht: Springer, Netherlands.
- Campano, C., Merayo, N., Negro, C., and Blanco, Á. (2018). Low-fibrillated bacterial cellulose nanofibers as a sustainable additive to enhance recycled paper quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1077-1083. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.170>
- Erkan, Z.E., Malayoğlu, U. (2001). Kağıt-karton sanayiinde kullanılan endüstriyel hammaddeler ve özellikleri, *IV. Endüstriye Hammaddeler Sempozyumu*, 18-19 Ekim, İzmir, Türkiye.
- Ersoy Kalyoncu, E., Peşman, E. (2020). Bacterial cellulose as reinforcement in paper made from recycled waste office pulp. *BioResources*, 15(4), 8496-8514. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8496-8514>
- Eroğlu, H., Usta, M. (2004). Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi Ders Kitabı Cilt I, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Fendler, A., Villanueva, M. P., Gimenez, E., and Lagarón, J. M. (2007). Characterization of the barrier properties of composites of HDPE and purified cellulose fibers. *Cellulose*, 14, 427-438. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9136-x>
- Forsström, J., Torgnysdotter, A., and Wågberg, L. (2005). Influence of fibre/fibre joint strength and fibre flexibility on the strength of papers from unbleached kraft fibres. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 20 (2), 186-191. <https://doi.org/10.3183/npprj-2005-20-02-p186-191>
- Gao W, Chen K, Yang R, Yang F, Han W. (2011). Properties of bacterial cellulose and its influence on the physical properties of paper. *BioResources* 6(1), 144-153. <https://doi.org/10.15376/biores.6.1.144-153>
- Gao, M., Li, J., Bao, Z., Hu, M., Nian, R., Feng, D., An, D., Li, X., Xian, M. and Zhang, H. (2019). A natural in situ fabrication method of functional bacterial cellulose using a microorganism. *Nature Communications*, 10(1), 437. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07879-3>
- Gess, J.M. (1998). Retention of fines and fillers during papermaking, *Tappi Pres*, Atlanta, 357.
- Güzel M, Akpınar Ö. (2018). Bakteriye selülozların üretimi ve özellikleri ile gıda ve gıda dışı uygulamalarda kullanımı. *Akademik Gıda*, 16(2), 241-251. <https://doi.org/10.24323/akademik-gıda.449633>
- Haller, T.M., Stryker, L.J., Janson, J.A. (2001). PCC application strategies to improve papermaking profitability. Part I. Thick stock precipitated calcium carbonate. In: TAPPI Papermakers Conference Proceedings. p.98, Tappi Press, Atlanta.
- Harben, P. (1998). CaCO₃ in Paper, *Industrial Minerals*, 366, 39-49.
- Holmberg, M. (1999). Paper Machine Water Chemistry. In: Papermaking Chemistry. (Ed: Neimo, L.). Gummerus Printing, Jyväskylä, Finland.
- Hubbe M.A. and Gill, R.A. (2016). Fillers for papermaking: A review of their properties, usage practices, and their mechanistic role. *BioResources*, 11(1), 2886-2963. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.2886-2963>
- Iguchi, M., Mitsuhashi, S., Ichimura, K. (1988). Bacterial cellulose-containing molding material

- having high dynamic strength. US Patent, Patent Number: 4,742,164.
- Johansson, A. (2011). Correlations Between Fibre Properties and Paper Properties, Ph.D. Dissertation, KTH Royal Institute of Technology School of Chemical Science and Engineering (CHE), Stockholm, Sweden.
- Karademir, A., Cetin, N.S., Tutus, A., Ozmen, N., Kurt, R., Mengeloğlu, F. (2003). Effects of CaCO₃ Loading on Some Properties of Woodfree Papers, *International Conference WPP*, 17-19 Eylül, Brastislava, Slovak Republic.
- Karademir, A., Chew, Y.S., Hoyland, R.W., Xiao, H. (2005). Influence of fillers on sizing efficiency and hydrolysis of alkyl ketene dimer. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 83(3), 603-606. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450830328>
- Karademir A., Varlıbaş H., Çiçek M. (2013). Kağıt üretiminde CaCO₃ dolgu maddesinin kimyasal tutunması üzerine bir araştırma. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A*, 14, 48-52.
- Koubaa, A. and Koran, Z. (1995). Measure of the internal bond strength of paper/board. *TAPPI Journal*, 78(3), 103-111.
- Niskanen, K.J., Alava, M.J., Seppälä, E.T., Åström, J. A. (1999). Fracture energy in fibre and bond failure. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(5), 167-169.
- Ondaral, S. (2004). The performance of anionic polyacrylamide as a retention aid in newsprint production. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2, 24-30.
- Pokhrel, D., Viraraghavan, T. (2004). Treatment of pulp and paper mill wastewater-A review. *Science of the Total Environment*, 333(1-3), 37-58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>
- Sözbir T. (2015). Retansiyon Kimyasallarının Bazı Ambalaj Kağıtların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye.
- Tabarsa, T., Sheykhnazari, S., Ashori, A., Mashkour, M. and Khazaeian, A. (2017). Preparation and characterization of reinforced papers using nano bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.108>
- Tutuş, A., Çelik, M.S. (2010). Kağıt endüstrisinde bentonit ile birlikte kullanılan polimerlerin tutunma ve kağıt özellikleri üzerine etkisi. *Engineering Sciences*, 5(2), 416-427.
- Ullah, H., Wahid, F., Santos, H. A., Khan, T. (2016). Advances in biomedical and pharmaceutical applications of functional bacterial cellulose-based nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 150, 330-352. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.029>
- Yuan, N., Xu, L., Zhang, L., Ye, H., Zhao, J., Liu, Z., Rong, J. (2016). Superior hybrid hydrogels of polyacrylamide enhanced by bacterial cellulose nanofiber clusters. *Materials Science and Engineering: C*, 67, 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.04.074>
- Yousefi, H., Faezipour, S., Hedjazi, S., Mousavi, M. M., Azusa, Y., Heidaria, A. H. (2013). Comparative study of paper and nanopaper properties prepared from bacterial cellulose nanofibers and fibres/ground cellulose nanofibers of canola straw. *Industrial Crops and Products*, 43, 732-737. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.030>