

# İPEK LİFLERİNDEKİ SERİSİNİN ENZİMATİK OLARAK UZAKLAŞTIRILMASI

## THE ENZYMATIC DEGUMMING OF SILK FIBERS

*Prof. Dr. Kerim DURAN*  
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

*Tek. Müh. Duygu ÖZDEMİR*  
Tübitak Tekstil Araştırma Merkezi

*Arş. Gör. Eylene Sema NAMLIGÖZ*  
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

### ÖZET

Bir serisin proteini ve serisin tarafından etrafı sarılan iki fibroin proteininden oluşan birleşik materyal olan ipek lifleri, Bombyx Mori türündeki ipek böceğinden elde edilmektedir. Her ikisi de protein olan fibroin ve serisin sırayla % 75 ve % 25 oranında liflerde bulunmaktadır. İpek kozasından ipek lifinin çekilerek işlenmesi ve giysi şekline getirilmesi birçok adımdan oluşmaktadır. Bunlar: makaraya ipliğin sarılması, dokuma, serisinin uzaklaştırılması, boyama veya baskı ve bitim işlemleridir. Serisinin tamamen uzaklaştırılması anahtar bir proses olup bunun sonucunda ipek lifleri, kendine özgü parlak görünüm, yumuşak tutum ve iyi derecede dökümlülük gibi tüketici tarafından çok istenen özelliklere sahip olmaktadır. Günümüzde ipekteki serisin, genellikle sabun ve alkali içeren alkali banyolarında uzaklaştırılmaktadır. Sabun, kesintisiz işlemlerde suni deterjanların yerine kullanılmaktadır. Son yıllarda, serisinin uzaklaştırılması konusunda proteinleri parçalayan enzimlerin kullanılmasıyla ilgili birtakım çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli asit, nötr ve alkali proteazlar bu proseslerde kullanılmıştır. Alkali proteazlar, serisinin tamamen ve düzgün uzaklaştırılması, mukavemetin azalmaması ve yüzey düzgünlüğünün, tutumun ve parlaklığın geliştirilmesi açısından asidik ve nötr olanlardan daha iyi bir şekilde etki göstermiştir. Bu yazıda, ipek liflerindeki serisinin enzimatik olarak uzaklaştırılması hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İpek, serisin, fibroin, serisinin uzaklaştırılması, enzim, proteaz

### ABSTRACT

The silk fibers are obtained by the silkworm Bombyx mori is a composite material formed by two fibroin proteins surrounded by a sericin protein. Both fibroin and sericin, which account for about 75 and 25 wt. %, respectively, are proteins. Silk processing from cocoons to the finished clothing articles consists of a series of steps which include: reeling, weaving, degumming, dyeing or printing, and finishing. Degumming is a key process during which sericin is totally removed and silk fibers gain the typical shiny aspect, soft handle, and elegant drape highly appreciated by the consumers. Nowadays, batch degumming of silk is mostly carried out in alkaline baths containing soap and alkali. Soap is replaced by synthetic detergents in continuous degumming. In recent years, various studies have dealt with the removal of sericin by using proteolytic enzymes. Several acidic, neutral, and alkaline proteases have been used on silk yarn as degumming agents. Alkaline proteases performed better than acidic and neutral ones in terms of complete and uniform sericin removal, retention of tensile properties, and improvement of surface smoothness, handle, and lustre of silk. In this article, it has been tried to give information about enzymatic degumming of silk fibers.

**Key Words:** Silk, sericin, fibroin, degumming, enzyme, protease

### 1. GİRİŞ

Yün ve benzeri diğer kıllar yanında önemli bir doğal yumurta akı (protein) lifi de ipektir. İpek lifleri, Bombyx Mori türüne giren ipek böceğinin 2 tip ipek salgı bezinden gelen salgının alt du-dağın ucunda bulunan bir delikte birleşip tek tel halinde çıkmasıyla oluşmaktadır. İpek böceği, bütün kozayı durmaksızın ördüğünden kozadaki lif kesiksiz bir durumda bulunmaktadır. Bir kozada 1000-2700 m kadar lif bulunmakta olup, genellikle bir kozadan kesiksiz olarak çekilebilen ipek teli miktarı 500-1200 m kadardır.

Yaş bir kozanın ağırlığı 2-2,5 g kadar olup, bu ağırlığın büyük kısmını krizalit oluşturmaktadır. Koza, koza pamuğu ile kaplıdır, bunun altında koza gömleği, iç kısımda ise çıkarılmış deri gömleği ve krizalit bulunmaktadır (1).

### 2. İPEK LİFLERİNİN KİMYASAL YAPISI

Bombyx mori ipek kozasından elde edilen ipek lifleri, doğal makromolekül proteinler olan serisin ve fibroinden oluşmaktadır. Serisin suda çözünmeyen yapışkandır. Fibroin ise life oryante olmuş proteindir. Serisin, fibroinin etra-

fını yapışkan yapısı sayesinde sarmakta ve ipek liflerini bir arada tutmaktadır. Molekül ağırlığı 10-300 kDA arasında değişmektedir. Serisin fiziksel, kimyasal veya enzimatik olarak parçalanabilmektedir. Parçalanma sonucunda serisinin molekül ağırlığı 5-20 kDA'ya kadar düşmektedir (2).

Ham ipek liflerinde bulunan yağ, anorganik maddeler ve boyarmaddelerin tamamına yakın bir kısmı fibroini saran serisin tabakasında bulunmaktadır. Bu nedenle serisini uzaklaştırılan lifler bu yabancı maddelerden arınmış olurlar.

**Tablo 1.** Ham ipek liflerinin bileşimi

Bileşimdeki maddeler	Mutlak Kuru (%)	Normal Kuru (%)
Fibroin	72 – 81	64 – 73
Serisin	19 – 28	17 – 25
Yağ ve Mumlar	0,5 – 1	0,45 – 0,9
Boyarmadde ve anorganik maddeler	1 – 1,4	0,9 – 1,25
Su	-	10 – 11

### 3. İPEK LİFLERİNİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

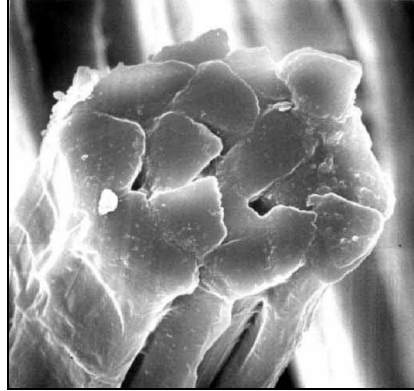
İpek lifleri hidrofil bir yapıya sahiptirler. Yün liflerinden farklı olarak yüzeylerinde ıslanmayı zorlaştırıcı epikutikula tabakası bulunmadığından ipek lifleri suyla kolaylıkla ıslanmaktadır. İpeğin ticari rutubet eki % 11'dir.

Serisinden farklı olarak fibroin suda çözünmemekte ise de, kaynar su veya buharla uzunca süre işlem gören ipek liflerindeki makromoleküller, önemli ölçüde parçalanmaktadır. Bu parçalanma peptid bağlarının hidrolizi şeklinde oluşmaktadır.

Suyun amorf bölgelerdeki H- köprülerini koparabilme özelliğinin bir sonucu olarak yaş ipek liflerinin kopma dayanımları kuru liflerin kopma dayanımlarına göre % 5-25 daha düşük, fakat kopma anındaki esneme miktarı %20-100 daha fazla çıkmaktadır (1).

İpeğin parçalanması kimyasal maddelerle gerçekleştirilebilmektedir. Asitlerle hidrolize sonucunda yapısındaki aminoasitlerde azalma meydana gelmektedir. İpeğin biyolojik olarak parçalanmasına yönelik birkaç rapor bulunmaktadır. Bacilus cinsine ait farklı bakteri türleri ve genellikle Aspergillus

cinsine ait bazı mantarlar ipek üzerinde yetişebilmekte ve boyanma özelliklerini değiştirmektedirler. Ham ipek üzerinde yetişebilen çok miktarda mantar



**Şekil 1.** İpek liflerinin enine kesit görünümü

bulunurken, bakteri türlerinin tümü ipek üzerinde yetişmemektedir ve boyanmalarını etkilememektedirler (3).

Genel olarak ipek lifleri asitlere karşı oldukça dayanıklı iseler de bu dayanıklılık yün liflerinde öğrenilene nazaran çok daha kısıtlıdır. İpek lifleri özellikle derişik kuvvetli asitler içerisinde hidrolize uğrayarak çözülmektedirler. Hidroklorik asit, sülfürik asit, özellikle sıcak olduğunda fibroini seri şeklinde çözebilmektedir.

Genelde ipek lifleri bazlara karşı duyarlı ve oldukça dayanıksız liflerdir. Ancak bu duyarlılık yündeki kadar fazla değildir. Seyreltik ve soğuk çözeltilerde ipek lifleri baz moleküllerini fazla karboksil ve grupları, tirozil köklerindeki fenolik -OH grupları ve hatta karbonil grupları üzerinden bağlayabilmektedirler. Ancak bazın kuvveti, derişikliği, sıcaklığı ve etki süresi arttıkça fibroin makromoleküllerinin hidrolize uğrama tehlikesi de artmaktadır.

Tuzların ipek liflerine etkisi bir dereceye kadar tuzların selüloz liflerine etkilerine benzemektedir. Her iki lifte de makromoleküller arasındaki en önemli bağların H- köprüleri olduğu düşünülürse bu benzerlik kolayca anlaşılabilir. Buna göre bazı alkali ve toprak alkali metallerin tuzları ipek liflerini şişirecek ve hatta kısmen çözecek şekilde etki göstermektedir.

Yükseltgen maddelerin ipek liflerine etkisi oldukça karışık karakterdedir. Zira

yükseltgen maddeler yan dallarda N-uç grup köklerinde ve amino gruplara komşu peptid bağlarında tepkimeye girebilmektedirler (1).

### 4. İPEK LİFLERİNDE SERİSİNİN UZAKLAŞTIRILMASI

İpek, kültür ipeği ve yabani ipek olmak üzere iki türü bulunan protein lifidir. Dut ipeği, kültür ipeğinin önemli bir türüdür. Tussah ve Muga türleri ise yabani ipek çeşitleridir. Dut ipeğinin içerdiği serisin miktarı % 20-30 arasında değişirken Tussah ve Muga ipeklerindeki serisin miktarı % 7,5-8,5 arasındadır. Serisin dışındaki yağ, vaks, inorganik tuzlar ve renklendirici maddeler gibi doğal safsızlıkların miktarı ise % 2,5-3,3 arasında değişmektedir. İpek liflerinde tüm terbiye işlemleri öncesinde serisinin uzaklaştırılması gerekmektedir. İpekte serisin uzaklaştırılması işlemi için çok çeşitli maddeler kullanılmaktadır.

#### Serisin uzaklaştırma işlemleri:

##### 4.1. Su ile yapılan işlem

1944 yılında ilk kez uygulanan su ekstraksiyonu yönteminde ham ipek 120°C'de 2 saat işlem görmektedir. Bu işlem 4 kez arka arkaya uygulanarak serisin tamamen uzaklaştırılmaktadır.

##### 4.2. Sabun ile yapılan işlem

Bu yöntemde serisinin uzaklaştırılması ve aynı zamanda ipek lifinin boyanması sağlanmaktadır. Materyal, sıcak sabun çözeltisi ile muamele edildikten sonra 50 dakika süre ile boya karışımı ile işleme tabi tutulmakta ve ardından suyla yıkanmaktadır. Procter and Gamble'ın tekstil araştırma bölümü tarafından bu işlemden kullanılacak en uygun sabunun sodyumoleat olduğu açıklanmıştır. Sodyumoleat iyi bir serisin uzaklaştırma için gerekli olan düşük oranda hidrolize özelliğine sahiptir. Ayrıca kolay durulanabilme, dayanıklı yağ asidi emülsiyonları oluşturabilme, oksidasyona karşı dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir.

##### 4.3. Enzimlerle yapılan işlem

Rohm tarafından gerçekleştirilen denemede ipek materyal % 0,05 Pankreatin

(pankreas preparasyonu) çözeltisi ile (%1-4 oranında soda veya borax içeren) 40°C'de birkaç saat işleme tabi tutulmaktadır. Ardından 90-100°C'da 30 dakika işlem sonucunda serisini uzaklaştırılmış ipek elde edilmektedir. Mavnier tarafından yapılan denemede ipekte serisinin enzimlerle tamamen uzaklaştırılması için gerekli görülen koşullar aşağıda belirtildiği gibidir :

**Örnek reçete:** % 1,5 pankreatin  
pH = 8  
Flotte Oranı = 1/30  
48 saat işlem

Proteinlerin hidrolizi için kullanılan enzimler; tripsin, timotripsin, pepsin, bakteriyel proteinazlar, papain, karboksipeptidaz A ve B, Lösin aminopeptidazlardır. Bu enzimlerden ipekte serisinin uzaklaştırılması için tripsin ve papain kullanılmaktadır. Papain, tripsine göre proteinler üzerinde daha yüksek derecede parçalama etkisine sahip olduğu için tercihen ipekte serisinin uzaklaştırılması işlemi için papain kullanılmaktadır.

1972'de lida ve Hiroshi, bromlain enzimlerle pH= 5-7'de 55°C'da ipekte serisinin uzaklaştırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Proses ortamına ayrıca enzim aktivatörü olarak sodyumsülfat, sodyumbisülfat ve mono-etanolamin bisülfat ilave edilmiştir. Ayrıca ön işlem olarak kaynar suda alkali ile işlem önerilmektedir.

1983 yılında Nakona tarafından yapılan çalışmada ipek materyal, 10g/l enzim çözeltisi ile işlem sonrasında 60 dakika buharlanmıştır. Buharlama işlemi ile materyalin tuşesinde de gelişme gözlenmiştir. Pichkadze tarafından protosublin glox enzimi ile çalışma yapılmış ve sonuçta işlem süresinde düşüş, fizikomekaniksel ve kullanım özelliklerinde gelişme ve su kirliliğinde azalma sağlandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada optimum sonuçlar, 1 g/l enzim, 0,5 g/l sodyumbisülfat içeren flotteyle 45-50°C'da 25-30 dakika işlem sonrasında elde edilmiştir.

Kim ve Nohm tarafından enzimatik serisin uzaklaştırma işlemi sonucunda klasik sabun, sabun-soda ile uzaklaştırma yöntemlerine göre daha iyi sonuçların elde edildiği bildirilmiştir.

**Tablo 2.** Farklı Proteaz Enzimlerinin Özellikleri

Enzim cinsi	Orijin	Karakteristik	pH	Çalışma sıcaklığı (°C)	Aktivitesi
A-3374-L	Bacillus subtilis (genetik olarak modifiye edilmiş)	Oksidatif-stabil endopeptidaz	7,5-12	20-60	55,9 MPU/g
B-GC 897-H	Bacillus lentus (genetik olarak modifiye edilmiş)	Bakteriyel yüksek alkali zinciri	1-12	40-65	44,7 GSU/ml
C-3273-C	Carica papaya	Papain, tiol proteaz	3,5-9	65-78	58,349 FCCOU/g

**Tablo 3.** İşlem koşulları

Enzim cinsi	pH	T (°C)	Enzim konsantrasyonu (birim/g kumaş)	İşlem süresi (dk)
A-3374-L	10	60	0,05-2	5-240
B-GC 897-H	10	65	0,05-2	5-240
C-3273-C	6	65	0,05-2	5-240

1986 yılında Lee alkaliaz, bakteriyel proteaz enzimi ile tripsin ve papain enzimlerini karşılaştırmıştır. Serisin uzaklaştırma işlemi 3 farklı koşulda gerçekleştirilmiştir.

a) pH= 8-9 b) pH= 5-6 c) pH= 8  
50-60°C 50-60°C 45°C

Deneme sonucunda alkaliaz konsantrasyonu arttıkça (0,6-1 g/l) serisin uzaklaştırma süresi 40 dakika kadar kısalmaktadır. İpeğin alkaliaz ile işlemi öncesinde veya sonrasında işlem etkinliğini arttırmak için ayrıca bir işlem uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla %0,1 sodyumbikarbonat çözeltisi ile 95°C'da 10 dakika ön işlem veya %20 sodyumsilikat çözeltisi ile 80°C'da 20 dakika ard işlem uygulanmaktadır. Kopma mukavemeti ve uzaması sabunla işleme nazaran daha iyi olmaktadır.

Sagakucki tarafından gerçekleştirilen denemede ipek numune %0,1 sodyummetasilikat içeren flotteyle emdirildikten sonra 95-98°C'da 40 dakika işlem ile toplam serisinin %61,2'si uzaklaştırılmaktadır. Ardından numune %0,05 alkaliaz içeren flotte ile 55°C'da 60 dakika işleme tabi tutulmaktadır. Her iki işlem sonucunda toplam serisinin %98,4'ü uzaklaştırılmaktadır ve numune tuşesinde de gelişme gözlenmektedir. Robner, proteaz enzimi ile işlem sonrasında ipek kumaşa daha yumu-

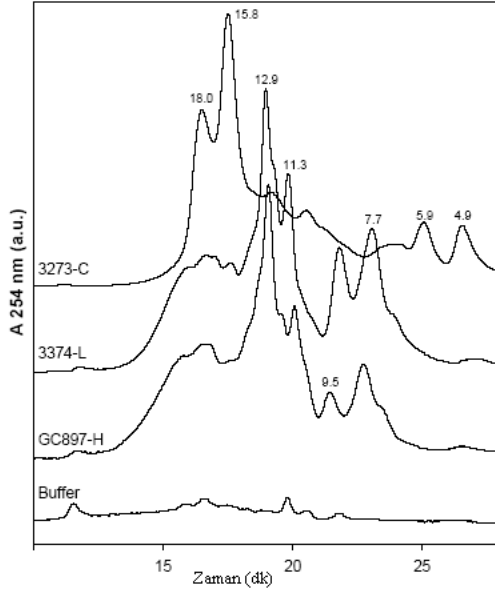
şak bir tuşe elde edildiğini bildirilmiştir. Sonwalker ve Prabnu Biopril 50 adındaki proteolitik enzim ile (2,5 g/l) non-iyonik tensid varlığında (1g/l) 55°C'da 60 dakika işlem ile serisin uzaklaştırma işlemini gerçekleştirmiştir. Herhangi bir ön veya ard işlem gerektirmeksizin tek banyoda gerçekleştirilen bu işlem sayesinde zaman ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

- Alkali: Alkali ile serisin uzaklaştırma işlemi sırasında alkali, serisin tarafından absorbe edilmekte ve COOH grupları çözünebilir COONa<sup>+</sup> dönüşmektedir.

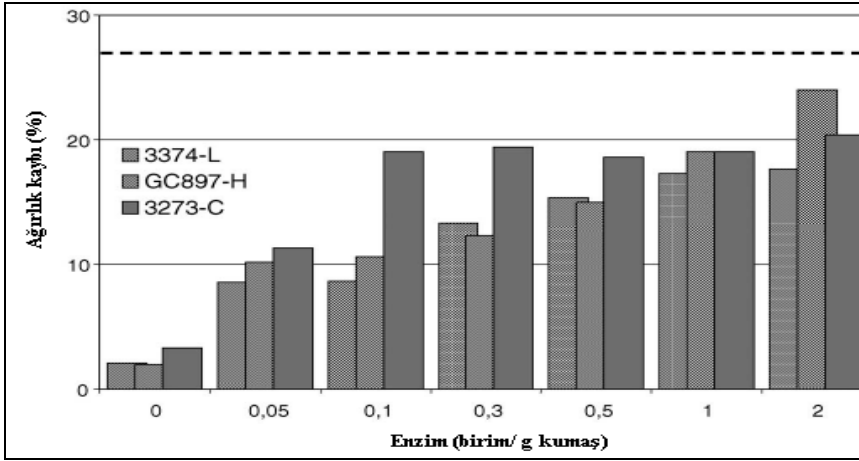
- Asit: Mosher, Viktor ve Blach, serisinin asitlerle de hidrolize olabileceğini belirtmişlerdir. Etkili bir serisin uzaklaştırma işleminin pH= 1,5-2'de hidroklorik asit, oksalik asit, veya tartarik asit kullanılmasıyla sağlanabilmektedir (4).

## 5. SERİSİNİN ENZİMLERLE UZAKLAŞTIRILMASINDA SON GELİŞMELER

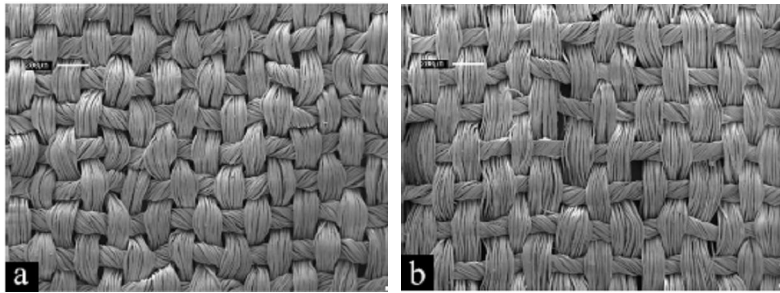
İpek kumaştan serisinin uzaklaştırılması amacıyla alkali, nötr ve asit ortamında aktivite gösteren proteazlarla işlem yapılmaktadır. Proteazlarla optimum pH ve sıcaklık şartlarında işlem yapılmıştır. Enzim konsantrasyonu ve işlem süresi serisinin uzaklaştırılmasında en önemli parametrelerdir. Seri-



Şekil 2. Serisin peptidlerinin HP-SEC kromatografisinde analizi



Şekil 3. Farklı enzimlerle yapılan işlem sonucunda ağırlık kayıpları



Şekil 4. SEM görüntüleri (a) Klasik işlem (b) Alkali proteaz-B (2 br/g kumaş) ile 60 dk işlem sonrası

sinin sabun ve alkaliyle uzaklaştırılması sonucu kumaş üzerindeki miktarı % 27 iken, farklı enzim kullanılarak yapılan işlemler sonucunda bu miktar yaklaşık % 20'ye kadar düşmektedir.

Serisinin uzaklaştırılması, ipek liflerinin parlaklık, yumuşak tutum ve dökümlülük gibi özellikleri kazanmasını sağla-

yan anahtar bir procestir. Günümüzde ipek liflerinden serisinin uzaklaştırılması sabun ve alkali içeren alkali flottesini ile yapılmaktadır. Fakat işlem sonrasında liflerin fiziksel ve görünüm özelliklerinde mat görünüm, yüzeyde fibrilasyon, zayıf tutum, mukavemette düşüş ve boya sonrasında homojen

olmayan absorpsiyon gibi birtakım istenmeyen özellikler meydana gelmektedir.

Son yıllarda, serisinin uzaklaştırılmasında proteaz enzimlerinin kullanılmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Birçok asidik, nötr ve alkali proteazla çalışılmıştır. Alkali proteazlar, asidik ve nötr enzimlerden daha iyi sonuç vermiştir. Serisinin uzaklaşmasında daha homojen bir yapı, daha az mukavemet kaybı, düzgünlük, tutum ve parlaklıklarda artış kaydedilmiştir.

DeneySEL çalışmalarda % 100 dokuma ipek kumaş kullanılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla hem klasik alkali çözeltisiyle hem de dört farklı enzimle çalışılmıştır. Ardından durulama ve oda sıcaklığında kurutma yapılmaktadır. 10 g/l Marseille sabunu ve 1g/l sodyum karbonat ile hazırlanan klasik alkali çözeltisiyle 98°C'de 1 saat işlem yapılmıştır.

Tablo 2'de serisinin uzaklaştırılmasında kullanılan proteaz enzimlerinin özellikleri verilmektedir.

Enzimatik işlemlerin koşulları ise Tablo 3'de görülmektedir.

İşlem başlangıcında 1/100 flotte oranında hazırlanan çözeltiye enzim cinsine göre farklı tampon ilave edilmektedir. Daha sonra pH ve sıcaklık ayarlanarak işleme başlanmaktadır. İşlem sonunda proteazlar, 85°C'de 10 dakika kadar işlem yapılarak etkisiz hale getirilmektedir.

### 5.1. Serisin peptidlerinin HP-SEC kromatografisinde analizi:

Serisinin uzaklaştırma işleminden sonra ipek kumaş uzaklaştırılmakta ve serisin peptid içeren çözelti yıkanıp dondurulmakta ve kurutulmaktadır. Daha sonra bu örneklerin HP-SEC kromatografisinde analizi yapılmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2'deki analizlerde, alkali ve nötr enzimlerle işlem sonrasında kumaştaki serisin peptidleriyle ilgili olarak tespit yapılmıştır. En yüksek pikler nötr (C) enzimle çalışma sonrasında elde edilmiştir. Bunun anlamı, serisin peptidlerinin miktarı en fazladır.

## 5.2. Ağırlık kaybının değerlendirilmesi

Klasik ve enzimatik olarak serisinin uzaklaştırılmasından sonra kumaşlardaki ağırlık kayıpları tespit edilmiştir (Şekil 2).

Enzimlerle yapılan işlem sonrası uzaklaştırılan serisin miktarı fazla olmasına rağmen mukavemet kaybı da özellikle enzim konsantrasyonu arttıkça artmaktadır.

## 5.3. İşlem sonrası örneklerin SEM ile incelenmesi

Şekil 4'de klasik ve enzimlerle yapılan işlemler sonrasında ipek kumaşların incelenen yüzey morfolojileri görülmektedir.

Enzimle yapılan işlem sonrasında serisinin daha etkili bir şekilde uzaklaştığı ve bu sebeple filamentleri bir arada tutan yapıştırıcı madde oranı azaldığı

için iplik yüzeyinden dışına doğru çıkmış lifler görünmektedir.

## 5.4. Deneysel Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar

İpekteki serisinin enzimlerle uzaklaştırılması sonucunda alkaliyle işleme nazaran beyazlık derecesinde artış ve daha yumuşak tutumlu lifler elde edilmiştir. Özellikle alkali proteazlarla çalışma sonucunda en iyi etkiler elde edilmiştir. Parçalanma kinetikleri enzim konsantrasyonu ve işlem sıcaklığına göre değişmektedir. Uzaklaştırılan serisin miktarı, süreye bağlı olarak artmaktadır. Bunlara ek olarak enzimlerle yapılan bu çalışmada alkali ve deterjan olmadığı için çok az miktardaki kirlilik sebebiyle atık su geri kazanımı ve bu peptidlerin özellikle kozmetik ürünlerinde katkı maddesi olarak tekrar kullanımı söz konusudur (5).

## KAYNAKLAR / REFERENCES

1. Tarakçıoğlu I, Tekstil Terbiyesi ve Makineleri, Cilt: 2, s. 418-429.
2. Yu-Qing Z, Mei-Lin T, Wei-De S, Yu-Zhen Z, Yue D, Yan M, Wen-Lin Z., "Immobilization of L-asparaginase on the microparticles of the natural silk sericin protein and its characters", Biomaterials 25 (2004), s. 3751-3759.
3. Annamaria S, Maria R, Tullia M, Silvio S, Orio C. "The Microbial Degradation Of Silk: A Laboratory Investigation", International Biodeterioration & Biodegradation 42 (1998), s. 203-211.
4. Nargunamani M, Selvakumar N. "Degumming of Silk", Colourage Mart 2002, s. 43-47
5. Freddi G, Mossotti R, Innocenti R. "Degumming of Silk Fabric With Several Proteases", Journal of Biotechnology 106 (2003), s. 101-112.

# BUNLARI BİLİYOR MUSUNUZ?

- **Mikroelektromekanik Teknoloji:** Bilgisayar ile yan iletici çiplere gömülü ince mikro mekanik ve elektronik cihazları birleştiren teknoloji.
- **Nano Teknoloji:** Elektronik komponentlerin boyutunu metrenin milyonda birine kadar ya da yaklaşık olarak bir atomun büyüklüğünün on katma düşürmeyi hedefleyen teknoloji.
- **Elektro-eğirme tekniği:** Polimerler, bir kaç özel büküm ilavesi ile elektriksel olarak şarj edilerek patlatılmakta ve oluşan nanolifler belli bir kişinin vücut sekline göre biçimlenmiş bir göbek etrafında toplanabilmekte ve özel bir membran oluşturulabilmektedir.
- **Yüksek sıklıkta dokuma kumaşlar:** En tipik örneği Ventile pamuklu kumaştır. Ayrıca Japon orijinli Teijin Ellettes, Unitika Gymsçye Kanebo Savına gibi bir seri dokuma polyester kumaşlar da vardır.
- **Mikro gözenekli kaplama ve filmler:** Birçok çeşidi mevcuttur. Bu membranlar 0,1-5 mm gözenek ölçülerinde boş mikro gözenekli cinstedir. En fazla bilinen ürün, Gore-Tex mikro gözenekli politetrafloretillen membran kullanılır
- **Hidrofilik katı kaplamalar ve filmler:** Mikro gözenekli filmlerin tersine, hidrofilik ürünler sürekli gözeneksiz katı filmlerdir. Böylece sıvıların girmesine yüksek dayanımı vardır. Su buharının dağılması O-CO-OH veya NH<sub>2</sub> gibi blok kopolimerler gibi polimerin içine hidrofilik fonksiyonel grupların dahil edilmesiyle sağlanmaktadır. Bu, film içinden,