DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ ELEKTROSTATİK YÜKLENMENİN KULLANIM PERFORMANSINA VE KONFOR ALGISINA ETKİLERİ

Gülçin CİLVELİ

Ocak, 2012
İZMİR

TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ ELEKTROSTATİK YÜKLENMENİN KULLANIM PERFORMANSINA VE KONFOR ALGISINA ETKİLERİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Gülçin CİLVELİ

Ocak, 2012

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÜLÇİN CİLVELİ, tarafından **PROF. DR. AYŞE OKUR** yönetiminde hazırlanan **"TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ ELEKTROSTATİK YÜKLENMENİN KULLANIM PERFORMANSINA VE KONFOR ALGISINA ETKİLERİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşe OKUR

Yönetici

Prof. Dr. Erhan KIRTAY

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Aysun AKŞİT

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde ve tezimin yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen, çalışmam süresince karşılaştığım her türlü sorunumun çözümü sırasında desteğini gördüğüm, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayşe OKUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda kullandığım sürtünme ile elektriklenme ölçüm düzeneğinin üretilmesini sağlayan Sayın Mehmet YAĞCI'ya, ölçüm düzeneği hakkında değerli yorumlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr Serkan GÜNEL'e ve Sayın Deniz SÜLAR'a, yürütücüsü olduğu TÜBİTAK Projesinde bana bursiyer olarak çalışma şansı tanıyan ve her konuda destek veren değerli hocam Öğr. Gör. Dr. Vildan SÜLAR'a deneylerim sırasında yardımları ile çalışmama katkı sağlayan Özlem ERGÜN'e ve çalışmam süresince imkanlarından faydalandığım Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'ne ve tüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak desteklerini her zaman hissettiğim, her kararımda yanımda yer alan ve bir bireyi olduğum için kendimi şanslı gördüğüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gülçin CİLVELİ

TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ ELEKTROSTATİK YÜKLENMENİN KULLANIM PERFORMANSINA VE KONFOR ALGISINA ETKİLERİ

ÖZ

Bu çalışmada giysilerin kullanımı sırasında meydana gelen statik elektriklenmenin kullanım performansına ve konfor algısına etkileri değerlendirilmiştir. Giysilik kumaşların statik elektriklenme özelliklerini belirleyebilmek için kumaşlar üzerinde sürtünme ile elektriklenme meydana getiren bir düzenek üretilmiş ve kumaşlar üzerinde meydana gelen elektrostatik gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçüm düzeneğinden tekrarlanabilir sonuçlar elde edildiği yapılan varyans analizleri ile ortaya konulmuştur.

Çalışma kapsamında sistematik olarak üretilmiş hammaddesi poliester ve pamuk olan dokuma kumaşların yapısal parametrelerinin statik elektriklenmeye etkisi araştırılmıştır. Ayrıca farklı hammaddelere sahip, ticari olarak giysi üretiminde kullanılan bir grup kumaşın sürtünme ile statik elektriklenme özellikleri belirlenmiştir. Ticari olarak kullanılan test kumaşları arasından astarlık kumaşlar seçilmiş ve en düşük elektrostatik gerilim sonuçlarına göre en iyi astar-kumaş kombinasyonunu belirlemek için astar kumaşının test kumaşının sürtünme ile elektriklenmesine etkisi test edilmiştir. Sürtünme ile statik elektriklenme özellikleri belirlenen giysilik kumaşların triboelektrik dizinleri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: statik elektriklenme, giysi konforu, triboelektrik seri, giysilik kumaşların elektrostatik özellikleri

EFFECTS OF ELECTROSTATIC CHARGING OF TEXTILE PRODUCTS ON END-USE PERFORMANCE AND COMFORT PERCEPTION

ABSTRACT

In this study, the effects of static electricity on the end-use performance of garments and comfort perception were evaluated during the usage of clothes. In order to determine the static electricity properties of clothing fabrics, a mechanism that produces electricity on the test fabrics by triboelectrification method was manufactured and electrostatic voltage values occurred on the test fabrics were measured by an electrostatic voltmeter simultaneously with the mechanism. The repeatability of the test results produced by the mechanism manufactured in the study was presented by variance analyses.

In the context of this study, the effect of the structural parameters of polyester and cotton woven fabrics, which were produced systematically, on the electrostatic properties of woven fabrics were investigated. In addition, a new group of test fabrics having different raw materials which were commercially used in the production of clothing were tested in terms of static electricity properties occurred by friction. The lining fabrics were selected from the test fabrics group which were used commercially and were tested to examine the effect of lining fabric on the static electricity properties of test fabrics and to determine the best lining-fabric combination according to the lowest static electricity results. Finally, the triboelectric series of clothing fabrics used in this study were prepared.

Keywords: static electricity, clothing comfort, triboelectric series, electrostatic properties of clothing fabrics

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Giriş 1
1.2 Genel Bilgiler 2
1.2.1 İletken ve Yalıtkan Tanımı 4
1.2.2 Statik Elektrik 4
1.2.3 Statik Elektriklenme Yöntemleri 5
1.2.3.1 Sürtünme ile Elektriklenme 5
1.2.3.2 Temas ile Elektriklenme 5
1.2.3.3 Etki ile Elektriklenme 5
1.2.3.4 Diğer Elektriklenme Yöntemleri 6
1.2.4 Coulomb Kanunu 6
1.2.5 Elektrik Alanı 7
1.2.5.1 Elektrik Kuvvet Çizgileri 7
1.2.5.2 Elektrik Alanı ve Alan Şiddeti 7
1.2.5.3 Noktasal Bir q Yükünün r Kadar Uzaklıktaki Elektrik Alan Şiddeti 7
1.2.5.4 Birden Fazla Noktasal Yükün Bir Noktadaki Elektriksel Alanı 8
1.2.6 Elektrik Potansiyeli ve Gerilim 8
1.2.7 Elektrik Akımı 9
1.2.8 Elektriksel Direnç 10
1.2.9 Dielektrik (yalıtkanlık) Sabiti 10
1.2.10 Elektriksel Kapasitans 10
1.2.11 Statik Elektrik Yüklerinin Ölçülmesi 10
1.2.11.1 Elektroskop 10

1.2.11.2 Elektrometre 11
1.2.11.3 Elektrostatik Voltmetre 11
1.2.12 Statik Elektriklenmeyi Etkileyen Faktörler 11
1.2.12.1 Cismin Tipi 11
1.2.12.2 Nem Oranı 11
1.2.12.3 Tekrarlama 12
1.2.12.4 Pil Etkisi 12
1.2.12.5 Isı Değişikliği 12
1.2.13 Statik Elektriklenmenin Günlük Hayatımıza Etkisi 12
1.2.14 Statik Elektriklenmeye Karşı Alınabilecek Önlemler 15
1.2.15 Tekstil Materyallerinde Statik Elektriklenme 17
1.2.15.1 Statik Elektriklenmenin Tekstil Materyallerinin Üretim Süreçlerine Etkisi 18
1.2.15.2 Statik Elektriklenmenin Giysi Konforuna Etkileri 21
1.2.15.3 Statik Elektriklenmenin İnsan Fizyolojisine Etkileri 23
1.2.16 Tekstil Materyallerinin Elektrostatik Özelliklerinin Belirlenmesi 27
1.3 Yumuşatıcıların Tekstil Ürünlerinin Statik Elektriklenmesine Etkileri 30
1.3.1 Yumuşatıcıların Sınıflandırılması 31
1.3.1.1 Katyonik Yumuşatıcılar 31
1.3.1.2 Anyonik Yumuşatıcılar 31
1.3.1.3 Non-iyonik Yumuşatıcılar 32
1.3.1.4 Silikon Yumuşatıcılar 32
1.3.1.5 Özel Yumuşatıcılar 33
1.3.1.6 Ev Tipi Yumuşatıcılar 33
1.3.2 Yumuşatıcıların Etki Mekanizması 34
1.3.3 Yumuşatıcıların Tekstil Ürünleri Üzerindeki Etkileri 35
1.3.3.1 Yumuşaklık Etkisi 35
1.3.3.2 Statik Elektriklenme Etkisi 36
1.3.3.3 Koku Etkisi 36
1.3.3.4 Görünüm ve Renk Etkisi 36
1.3.3.5 Kırışıklık Önleme Etkisi 36
1.3.3.6 Yanıcılık Üzerine Etkisi 36

1.4 Önceki Çalışmalar 37

BÖLÜM İKİ - MATERAL VE METOT 56

2.1 Materyal 56
2.2 Metot 58
2.2.1 Kumaşların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi 58
2.2.2 Kumaşların Sürtünme ile Statik Elektriklenme Özelliklerinin Belirlenmesi 59
2.2.2.1 Ölçüm Düzeneği 59
2.2.2.2 Test Prosedürü 64

BÖLÜM ÜÇ - ARAŞTIRMA SONUÇLARI 66

3.1 Ölçüm Düzeneği ile Elde Edilen Sonuçların Tekrarlanabilirliği 66
3.2 Sürtme Zamanını ve Yapısal Parametrelerin Poliester Dokuma Kumaşların Statik Elektriklenmesine Etkisi 75
3.2.1 A Grubu Poliester Kumaşların Elektrostatik Gerilim Sonuçları 76
3.2.2 B Grubu Poliester Kumaşların Elektrostatik Gerilim Sonuçları 79
3.3 Yapısal Parametrelerin Pamuklu Dokuma Kumaşların Statik Elektriklenmesine Etkisi 82
3.4 Ticari Olarak Kullanılan Çeşitli Giysilik Kumaşların Elektrostatik Gerilim Sonuçları 84
3.5 Astar–Kumaş Kombinasyonlarında Elektrostatik Gerilim Sonuçları 87
3.6 Ticari Olarak Kullanılan Çeşitli Giysilik Kumaşların Triboelektrik Dizinleri 95
3.7 Astar Kumaşlarının Aşınmaya Karşı Dayanımı Sonuçları 98

BÖLÜM DÖRT - SONUÇ VE ÖNERİLER 101

KAYNAKLAR 107

EKLER..... 113

EK-1 113
EK-2 115

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

1.1 Giriş

Tekstil ürünleri kullanım sırasında elektrostatik yük ile yüklenmekte ve bu yükün deşarj olması kullanıcı açısından can sıkıcı ve rahatsız edici olmaktadır. Tekstil ürünlerinde kullanım sırasındaki statik elektriklenme çoğunlukla sürtünme sonucu ortaya çıkmaktadır. Özellikle kullanım sırasında statik elektriklenme sebebiyle giysilerin vücuda yapışması ya da vücutta karıncalanma hissinin ortaya çıkması kişilerin kendilerini konforsuz hissetmelerine sebep olmaktadır. Giysilerin çıkarılması sırasında gerçekleşebilecek elektrostatik deşarjlar can yakıcı ve huzursuz edici etkiler ortaya koymaktadır. Metal aksamlara dokunma sırasında aniden oluşan elektrostatik deşarjlar özellikle yanıcı ve patlayıcı gazların bulunduğu ortamlarda ciddi kazalara sebep olabilmektedir. Ayrıca statik elektriklenmenin insan vücudunda fizyolojik etkileri bulunmakta ve giysilerin kullanım performanslarını etkilemektedir. Örneğin, kullanım sırasında giysi üzerinde oluşan statik elektriklenme ortamda kirlilik yaratabilecek partiküllerin kumaş üzerinde toplanmasına neden olarak giysilerin daha kısa sürede kirlenmesine neden olabilmektedir.

Tekstil ürünlerinde sentetik liflerin kullanımının günümüzde hiç de azımsanamayacak miktarda olması elektrostatik yüklenmenin kullanım performansı açısından araştırılmasını önemli kılmaktadır. Giysilerin kullanımı sırasında statik elektriklenme oluşturan en önemli fiziksel etken sürtünmedir. Bu nedenle çalışmada kumaşların statik elektriklenme özellikleri değerlendirilirken kumaş üzerinde sürtünme ile elektriklenme sonucu oluşan elektrostatik gerilim miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Statik elektriklenmeyi giysilerimizin kullanım performansı açısından değerlendirirken incelenebilecek bir diğer etken ise çamaşır yumuşatıcılarıdır. Çünkü deterjan ve yumuşatıcılar tekstil ürünün hammaddesi ile fiziksel ve kimyasal etkileşim göstererek kumaşın yüzeyinde yer alan atomların elektron alma ve verme eğilimlerini etkilemektedirler. Bu çalışma kapsamında yumuşatıcıların tekstil ürünlerinin statik elektriklenmesine etkileri deneysel olarak incelenmemiş ancak yumuşatıcıların kumaş üzerinde nasıl bir etki mekanizmasına sahip olduğuna ilişkin literatüre dayalı açıklamalara yer verilmiştir.

1.2 Genel Bilgiler

Statik elektriklenmenin görünür etkisini ilk fark edenler arasında 3000 yıldan daha uzun bir süre önce Suriye'de yaşamış kadınlar yer almaktadır. Suriyeli kadınlar, sol ellerinde işlenmemiş yün sarılı bir öreke, sağ ellerinde de bu örekeden gelen gevşek yün liflerini sağlam bir iplik halinde büken bir iğ tutarak, yün eğiriyorlardı. İğ çoğunlukla kehribardan yapılıyordu. Kehribarın durmadan hav ve toz çektiğini gören kadınlar bu alete Harpaga (tutucu) ismini vermişlerdi. Yün eğiren kadınlar tarafından fark edilen bu ilginç özelliği taşıyan malzemeler, kehribarın eski Yunancası olan "electricus" sözcüğü ile adlandırılmaya başlamıştır. Dilimize ise "elektrik" olarak geçmiştir. Günümüzde kehribarın bu özelliğini anlatmak için kehribar sürtünme ile elektriklenmiştir veya elektrik yükü almıştır diye ifade etmekteyiz. Kehribar, milyonlarca yıl önce yaşamış, çok geniş alanlar kaplayan, yüksek ağaçlı, tropik ve yarı tropik ormanlardaki ağaçların salgıladığı reçinenin fosilleşmiş halidir. (Lenihan,1990).

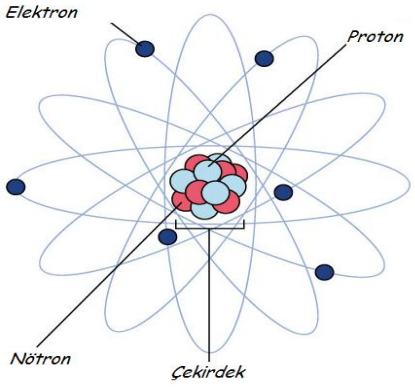
Sürtünme ile elektriklenen bir ebonit çubuğun aynı şekilde elektriklenen diğer bir ebonit çubuğu ittiği gözlenir. Sürtünme ile elektriklenmiş cam çubukla yapılan benzer deneylerden de aynı sonuçlar çıkarılır. Elektriklenmiş bir cam çubuk ile elektriklenmiş bir ebonit çubuğun birbirlerine yaklaştırıldığında ise birbirlerini çektikleri görülmektedir. Çeşitli cisimlerle yapılan elektriklenme deneyleri, sürtünme ile elektriklenmenin ya cam tipinde ya da ebonit tipinde olduğunu göstermiştir. Bu sonuç bilginleri iki cins elektrik yükü olduğu kanısına götürmüştür. Cam çubuk ve onun gibi davranan cisimlere pozitif (+) yüklü, ebonit çubuk ve onun gibi davranan cisimlere de negatif(-) yüklü cisimler denmiştir (Güner,1979).

Bugün en küçük eksi elektrik yükünü elektron denilen elementer parçacığın taşıdığı, en küçük pozitif elektrik yükünü ise proton denilen elementer parçacığın taşıdığı bilinmektedir. Elektronun sahip olduğu elektrik yükü miktarı, protonun sahip olduğu elektrik yükü miktarına değerce eşittir. Elektrik yükü taşımayan elementer parçacık ise nötrondur ve kütlesi protonun kütlesine eşittir. Elektrik yükü Q ya da q ile gösterilir, birimi Coulomb(C)'dur (Oral, 1983).

Tablo 1.1 Elektrik yüklerinin değerleri (Güven, 1997)

	Yük	**Kütle**
Elektron	$-1{,}602.10^{-19}$ C	$9{,}1095.10^{-31}$ kg
Proton	$+1{,}602{,}.10^{-19}$ C	$1{,}6726.10^{-27}$ kg
Nötron	0	$1{,}6749.10^{-27}$ kg

Maddenin kimyasal yöntemlerle parçalanamayan en küçük yapı taşı olan atom, Bohr Atom Modeli'ne göre pozitif yüklü bir çekirdek etrafında dolaşan negatif yüklü elektronlardan oluşan bir sistemdir. Çekirdek, proton ve nötronlardan meydana gelmektedir.



Şekil 1.1 Atomun yapısı

Cismi meydana getiren atomların çekirdeklerinin taşıdığı artı elektrik yüklerinin toplamı, cismin sahip olduğu artı yük miktarını, elektronların taşıdığı eksi elektrik yüklerinin toplamı da cismin sahip olduğu eksi yük miktarını belirler. Normal durumda, artı yük miktarı eksi yük miktarına eşittir ve cisim nötrdür denir.

Çekirdeğe yakın yörüngelerdeki elektronlar kuvvetli bir çekimle çekirdeğe bağlıdır. Atomların dış yörüngelerindeki elektronlara valans elektron ya da serbest elektron denir. Bunlar çekirdeğe zayıf bir bağ ile bağlı olduklarından ufak bir enerji ile atomu terk edebilirler. Bu durumda atomun elektriksel denge durumu bozulur. Atom eğer elektron vermişse pozitif(+) iyon, elektron almışsa negatif(-) iyon haline dönüşür.

Buna göre; cam ve ebonit çubuklarının sürtünme ile elektriklenmesi, camın elektron kaybederek pozitif yükle yüklendiğini, ebonit çubuğun ise elektron kazanarak negatif yükle yüklendiğini belirtmektedir. Yüklü cam ve ebonit çubuğun

birbirini çekmesi, farklı cins elektrik yükü ile yüklü cisimlerin birbirini çektiğini; yüklü iki ebonit ya da cam çubuğun birbirini itmesi, aynı cins elektrik yükü ile yüklü cisimlerin birbirini ittiğini ortaya koymaktadır.

1.2.1 İletken ve Yalıtkan Tanımı

Atomların son yörüngesindeki elektron sayıları elementlerin özelliklerini belirler. Maddeler, elektriksel özellikleri dikkate alınarak iletken madde, yalıtkan madde ve yarı iletken madde olarak isimlendirilir.

Atomlarının dış (valans) yörüngelerindeki elektron sayısı dörtten az (1-2-3) olan elementlere iletken denir. Bu elementler elektrik akımını iyi iletirler. Tüm metaller iletkendir. İnsan vücudu iyi bir iletkendir. İyonlara sahip sıvılar iyi bir iletkendir ve bunlara elektrolit adı verilmektedir. Saf su yalıtkan, günlük hayatta kullandığımız içme suyu iletkendir. Toprak, içinde su olduğu için iletkendir. Gazlar genelde yalıtkandır; fakat iyonlarına ayrılmış gazlar iletkenlik kazanırlar.

Atomların dış yörüngelerindeki elektron sayısı 8 ve daha fazla olan tüm elementlere yalıtkan denir. Yalıtkan materyaller elektriği iletmez. Son yörüngelerindeki elektron sayısı 5, 6, 7 olan elementler ise bir noktaya kadar yalıtkandır. Yalıtkan cisimlerde serbest elektronlar yok denecek kadar azdır. Cam, kauçuk, pamuk, yağ ve hava yalıtkan maddelere örnek olarak verilebilir.

Atomların dış yörüngelerindeki elektron sayısı 4 olan elementlere yarı iletken denir. Silisyum, germanyum gibi maddeler örnek olarak verilebilir.

1.2.2 Statik Elektrik

Bütün elektriksel olaylar atomların en dış yörüngelerindeki serbest hale geçmeye uygun elektronların herhangi bir dış etkenle uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Bir cismin herhangi bir dış etkenle pozitif ya da negatif elektrik yükü ile yüklenmesiyle ortaya çıkan elektriğe statik(durgun) elektrik denir.

Doğadaki statik elektriğe en güzel örnek şimşek ve yıldırımdır. Atmosferik elektriğin gözle görülebilir boşalımında ortaya çıkan parlak ışığa şimşek; şimşek ve gök gürültüsü ile kendini gösteren bulutlar arası veya bulutla yerdeki bir cisim

arasındaki elektrik boşalımına da yıldırım denir. Yıldırım, atmosfer ile yer yüzeyi arasında artan elektrik potansiyelini dengeleyen bir elektrik boşalımıdır (Anonim, 2007).

1.2.3 Statik Elektriklenme Yöntemleri

1.2.3.1 Sürtünme ile Elektriklenme

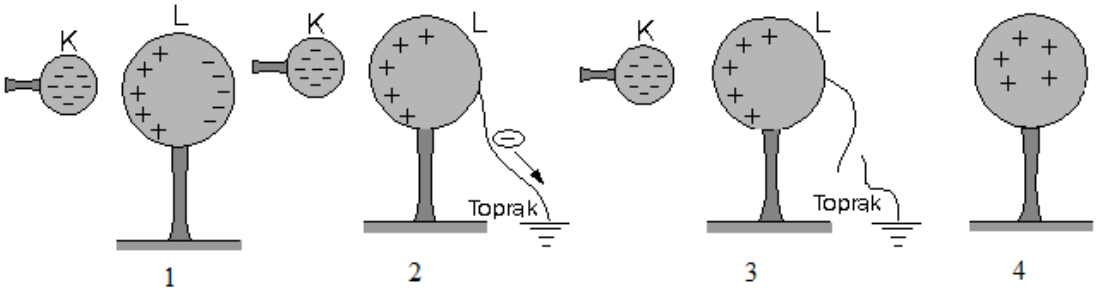
Farklı iki cisim birbirine sürtüldüğünde bu cisimlerden biri pozitif, diğeri negatif elektrik yükü ile yüklenir. Buna sürtünme ile elektriklenme denir. Saçımıza sürtülen tarağın kağıt parçalarını çekmesi sürtünme ile elektriklenmedir.

1.2.3.2 Temas ile Elektriklenme

Yüklü bir iletken cisim, yüklü ve yüksüz aynı tür bir iletken cisme dokundurulduğunda toplam yüklerini dış yüzeylerinin büyüklüğü ile paylaşırlar. Elektriklenmiş bir cisimle temas ettirilen yalıtkan bir cisimde ise temas ettirildiği bölgede zayıf bir elektriklenme meydana gelir.

1.2.3.3 Etki ile Elektriklenme

Yüksüz olan bir cisme elektrik yüklü bir cisim yaklaştırıldığında, yüksüz cismin yaklaştırılan yüklü cisme yakın tarafındaki ucunda zıt cinste elektrik yüklenmesi olur. Yüksüz cismin diğer ucunda ise yüklü cisim ile aynı cins elektrik yüklenmesi olur. Buna etki ile elektriklenme denir.



Şekil 1.2 Etki İle elektriklenme

1.2.3.4 Diğer Elektriklenme Yöntemleri

Elektrik kaynakları ile elektriklenme; bir akümülatör bataryasının kutuplarından birisinin elektroskobun küresine, diğerinin de muhafazasına bağlanması ile elektroskobun yapraklarının birbirinden uzaklaştığı gözlenir.

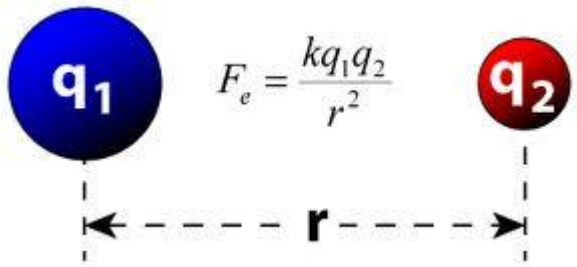
Metaller ve metal oksitler ısıtıldıkları zaman elektron yayarlar ve böylece pozitif yüklü hale geçerler. Görülüyor ki termoelektrik emisyon (elektron yayınlama) ile de elektriklenme olmaktadır. Alevler iletkendirler, bu onların elektriklenmiş olması demektir. Bunu doğrulamak için alev paralel iki metalik levha arasından geçirilir, levhalar elektriklendiği zaman alevin negatif yüklü levhaya doğru saptığı gözlenir.

Fotoelektrik olay; üzerine ışık düşen metallerin elektron yayınlamasıdır. Böylece elektron kaybeden metaller pozitif yüklü olurlar.

Piezoelektrik olay (basyüklenim etkisi); İletken olmayan billurdan yontulmuş bir levhaya belli bir doğrultuda uygulanan bir baskı (çekme ya da sıkıştırma) sonunda, billur levhanın iki yüzünde ters işaretli yüklerin (+q ve -q) ortaya çıkmasıyla nitelendirilen olaydır (*Oral*, 1983).

1.2.4 Coulomb Kanunu

Noktasal iki yük arasındaki itme veya çekme kuvveti, yüklerin çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.



Şekil 1.3 İki yük arasındaki kuvvet

F: Yükler arasındaki kuvvet (Newton)

q_1,q_2: Elektrik yükleri (Coulomb)

r: Yükler arası uzaklık (metre)

k: Kuvveti, uzaklığı ve yükleri ölçmekte kullanılan birimlere ve deney ortamına bağlı katsayıdır. Hava ve boşluk ortamında k= 9.109 $N.m^2 / C^2$ dir.

1.2.5 Elektrik Alanı

1.2.5.1 Elektrik Kuvvet Çizgileri

Elektrik alanını göstermeye yarayan, alan vektörüne teğet ve alanla aynı yönlü olan hayali çizgilere elektrik kuvvet çizgileri denir. Bir elektrik yükünün etrafındaki kuvvetli alanı gösterirken kuvvet çizgileri sık olarak çizilir. Zayıf elektrik alanını gösterirken de kuvvet çizgileri seyrek olarak çizilir.

1.2.5.2 Elektrik Alanı ve Alan Şiddeti

Pozitif birim yüke (Q) etkiyen elektrostatik kuvvete (F) elektrik alanı denir. Elektrik alanı vektörel bir büyüklüktür ve kuvvet çizgileri ile gösterilir. Elektrik alan şiddeti (E) harfi ile gösterilir. Birimi volt / metre'dir.

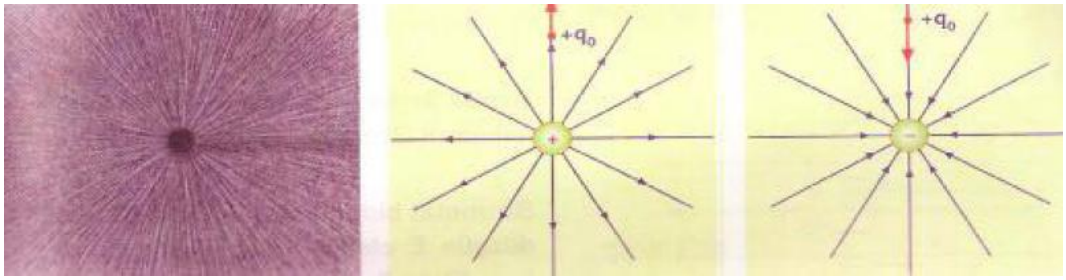
$$E = \frac{F}{Q}$$

formülü kullanılır.

1.2.5.3 Noktasal Bir q Yükünün r Kadar Uzaklıktaki Elektrik Alan Şiddeti

Elektrik yükünün etkisini gösterebildiği bir bölge vardır. Yükün belli uzaklığından itibaren etkisi hissedilmeyecek kadar az olur. Elektrik yükünün etkisini gösterdiği bu bölgeye, o yükün elektrik alanı denir. Elektrik alanının özelliklerini sıralarsak:

1. Elektrik alan çizgileri pozitif yükten dışa doğrudur.
2. Negatif yükün oluşturduğu elektrik alanı kendisine doğrudur.
3. Elektrik alan çizgileri birbirlerini hiçbir zaman kesmez.



Şekil 1.4 Bir yükün elektrik alanı ve (+) ve (-) yüklerin elektrik alanlarının vektörel gösterimi

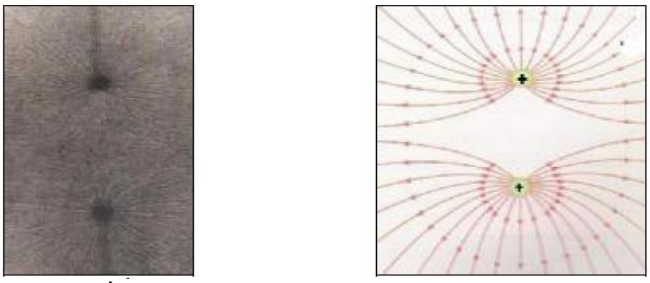
Noktasal yükün meydana getirdiği elektriksel alan,

$$E_A = k.\frac{q}{r^2}$$

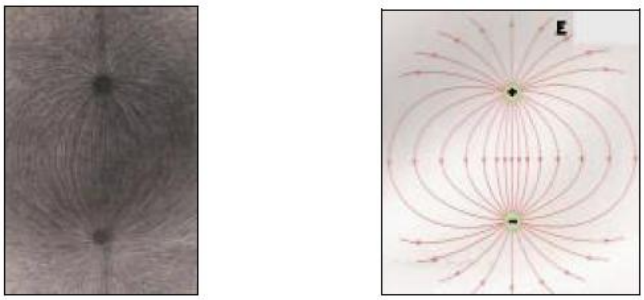
formülü ile hesaplanır. E_A; elektriksel alanı, k; deney ortamına bağlı kat sayıyı, q; noktasal yükü, r; elektriksel alanın belirlendiği uzaklığı ifade eder.

1.2.5.4 Birden Fazla Noktasal Yükün Bir Noktadaki Elektriksel Alanı

Elektrik alan çizgileri (+) yükten (–) yüke doğrudur. Elektrik alanı içindeki her noktadan bir alan çizgisi geçebilir. Aynı cins elektrik yükleri birbirlerini iter, farklı cins elektrik yükleri birbirlerini çeker.



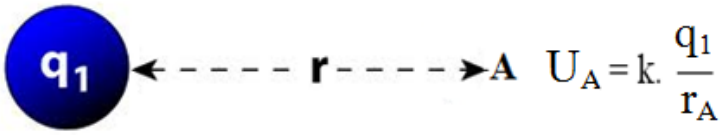
Şekil 1.5 İki adet (+) yükün oluşturdukları elektrik alanı



Şekil 1.6 (+) ve (-) yüklerin birbirlerine karşı oluşturdukları elektrik alanı

1.2.6 Elektrik Potansiyeli ve Gerilim

Elektrik alanı içindeki bir noktadaki elektrik yüklenmesi sonucu oluşan şarj olayına elektrik potansiyeli denir. U ile gösterilir, birimi Volt'tur.



Şekil 1.7 q_1 yükünün A noktasındaki elektrik potansiyeli

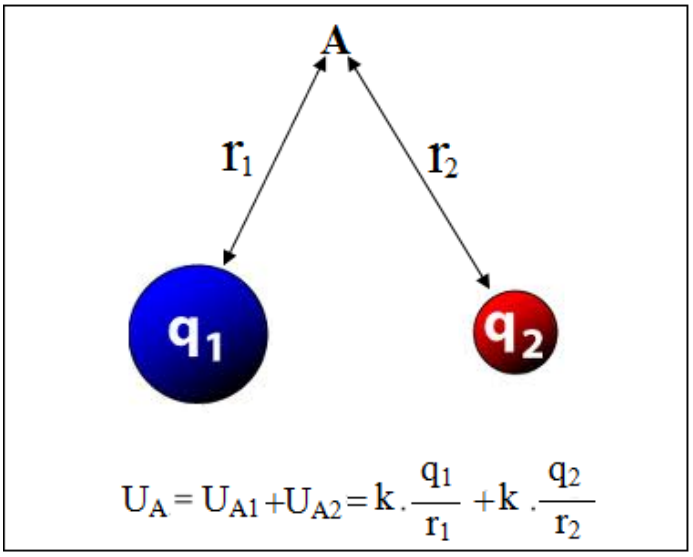
U_A: A noktasının potansiyeli (volt)

k: Yükün bulunduğu ortama ve kullanılan birim sistemine bağlı olan katsayı (9.109)

q_1: Elektrik yükü (Coulomb)

r_A: A noktasının Q yüküne olan uzaklığı (metre)

Potansiyel, skaler bir büyüklük olduğundan birden fazla yükün bir noktada oluşturduğu potansiyel, yüklerin o noktada oluşturdukları potansiyellerin cebirsel toplamına eşittir.



Şekil 1.8 İki adet yükün A noktasında oluşturdukları potansiyel

Pozitif birim yükünü, elektrik alanının herhangi bir noktasından bir başka noktasına götürmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan işe ise bu iki noktanın potansiyel farkı denir.

$U_{AB} = U_B - U_A$ (q yükü A noktasından B noktasına gitmiş ise)

$U_{AB} = U_A - U_B$ (q yükü B noktasından A noktasına gitmiş ise)

1.2.7 Elektrik Akımı

Elektrik akımı veya elektriksel akım, en kısa tanımıyla elektriksel yük taşıyan parçacıkların hareketidir. Bir kesit üzerinden birim zamanda geçen yük miktarı elektrik akımını verir. SI birimi Amper'dir (kısaltması A). Herhangi bir kesit üzerinden bir saniye içerisinde bir Coulomb'luk yük geçmesi bir Amper'lik akıma karşılık gelir.

1.2.8 Elektriksel Direnç

Bir nesnenin elektrik akımına karşı dayanma özelliğidir.

1.2.9 Dielektrik (yalıtkanlık) Sabiti

Bir malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneği dielektrik(yalıtkanlık) sabiti adı verilen katsayı ile ölçülür ve bu katsayı her malzemede farklı değer alır. ε ile gösterilen dielektrik sabiti aslında boşluğun dielektrik sabiti ve malzemenin bağıl dielektrik sabiti adı verilen iki bileşenden oluşur. Hesaplama kolaylığı açısından her malzemenin dielektrik katsayısı, boşluğun dielektrik katsayısına göre oranlanır ve ortaya çıkan yeni katsayıya bağıl dielektrik (yalıtkanlık) sabiti adı verilir.

$\varepsilon = \varepsilon_0 * \varepsilon_r$, ε_0 : boşluğun dielektrik sabiti, ε_r : malzemeye özgü bağıl dielektrik sabiti

$\varepsilon_0 = 8{,}854 * 10^{-12}$ farad/metre (F/m)

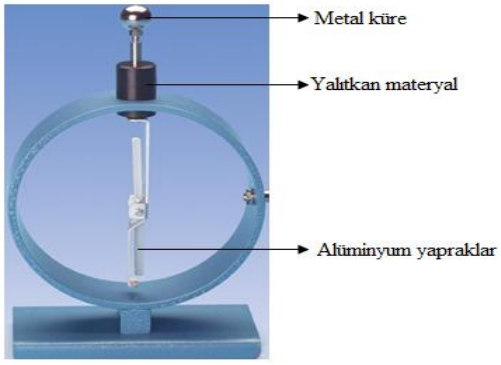
1.2.10 Elektriksel Kapasitans

Kapasitans yalıtkan yüzeylerin belli bir gerilimdeki taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır.

1.2.11 Statik Elektrik Yüklerinin Ölçülmesi

1.2.11.1 Elektroskop

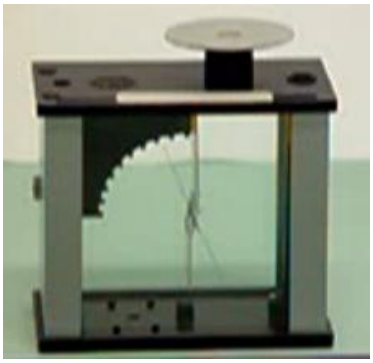
Bir cisimde elektrik yükünün olup olmadığını ve elektrik yüklerinin cinslerini belirlemek için kullanılan alete elektroskop denir. Elektroskop, yüksüzken metal yapraklar kapalıdır.



Şekil 1.9 Yapraklı elektroskop

1.2.11.2 Elektrometre

Yapısı elektroskopa benzemekle birlikte farkı, metal çubuklarından birinin sabit, diğerinin bir gösterge üzerinde hareket ediyor olmasıdır. Bu aletle bir cisim üzerindeki elektrik yüklerinin ne kadar olduğu bulunabilir.



Şekil 1.10 Elektrometre

1.2.11.3 Elektrostatik Voltmetre

Elektrostatik alan etkisinden yararlanarak iki nokta arasındaki gerilimi ölçen alete elektrostatik voltmetre denir.

1.2.12 Statik Elektriklenmeyi Etkileyen Faktörler

1.2.12.1 Cismin Tipi

Bazı cisimler diğerlerine göre elektrik yüklenme konusunda göreceli olarak daha uygundurlar. Bir cismin triboelektrik serilerindeki göreli pozisyonu materyalin temasta bulunduğu diğer materyale bağlı olarak negatif veya pozitif elektrik yükleneceğini belirler.

1.2.12.2 Nem Oranı

Genelde çevrenin kuru olması daha yüksek seviyede statik yüklenmeye, nem oranının yüksek olması ise daha düşük seviyede statik yüklenmeye yol açar. Göreceli olarak su, pek çok plastiğe göre çok daha iyi bir elektrik iletkenidir. Atmosferik nem, çevredeki tüm yüzeylerde küçük miktarlarda su depolanmasına yol açar ve bu nedenle cisimlerin yüzeylerindeki elektrik yükleri nem vasıtasıyla toprağa geçme eğilimi gösterirler.

1.2.12.3 Tekrarlama

Sürtünme veya izole etme gibi tekrarlanan faaliyetler o cisimdeki yüklenme seviyesini arttıracaktır. Örneğin, bir teflon merdane üzerinde hareket eden bir plastiğin, merdanenin her bir rotasyonundan sonra yüzeyindeki elektrik yükü artacaktır.

1.2.12.4 Pil Etkisi

Elektrik yüklü çeşitli maddelerin birleştirilmesi, çok yüksek elektrik yüklenmesine yol açabilir. Örneğin; nispeten düşük yüzey elektrik yüklenmesine sahip plastik tabakalar, üst üste yığıldığında veya sarıldığında çok yüksek voltajlar üretebilirler.

1.2.12.5 Isı Değişikliği

Soğuyan bir cisim elektrik üretmeye eğilim içerisindedir.Aslında soğutma işlemi o cismin tamamında net bir elektrik yüklenmesi anlamına gelir.Eğer cisim çok iyi bir yalıtkansa, iç statik yükü uzun bir süre muhafaza edilebilir.Bununla birlikte zaman içinde bu yük normal olarak bir yüzey statik yükü haline gelene kadar yüzeye akmaya devam eder.Bunun bir örneği de görünüşte sıcakken nötr olan fakat soğutulduğunda büyük bir yüzey yüküne sahip olan enjeksiyon kalıbıdır (Lüttegens ve Wilson, 1997).

1.2.13 Statik Elektriklenmenin Günlük Hayatımıza Etkisi

Doğadaki statik elektriğe en büyük örnek şimşek ve yıldırımdır. Çıplak ayakla halı üzerinde yürürken ayaklarımızın karıncalanması statik yüklerdendir. Çalıştığımız ortamdaki malzemelerle de sıkça temas halinde olmamız malzeme üzerindeki yükleri üzerimize çekmemize neden olur.

İnsanların statik elektrikle yüklenmesi yürüme esnasındaki sürtünmelerden, araçlara inip binmesinden, çalıştıkları masadan, giymiş-çıkarmış oldukları elbiselerden olabilir. Tablo1.2'de insanların hareketleri esnasında oluşan bazı statik elektrik miktarları ve bunları oluşturan unsurlar verilmiştir.

Tablo 1.2 Statik elektriği oluşturan bazı faktörler ve miktarları (www.minicircuits.com/app/AN40-005.pdf)

Statik Elektrik Oluşturan Faktörler	**Vücut üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerleri (Volt)**	
	%10-%20 Nemli Ortam	%65-%90 Nemli Ortam
Tezgah üzerinde çalışma yaparken	6000	100
Vinlex kaplanmış zeminde çalışırken	7000	600
Plastik klasör taşırken	7000	150
Vinlex kaplanmış zeminde yürürken	12000	250
Poliester çanta tezgahtan kaldırılırken	20000	200
Halı üzerinde yürürken	35000	1500

Tablo 1.2'de de görüldüğü gibi ortamdaki nem oranı arttıkça statik enerji miktarı azalmaktadır. Statik yüklenmeler yüksek voltaj değerlerinde olduklarından bazen görünür hale de gelebilirler. Işığın görünür hale gelebilmesi için en az 6000-7000 volt civarında olması gerekir. Örneğin, yün kazak çıkartılırken ve manyetolu çakmaklardaki görünür ışık yaklaşık 7000 voltluk değerde atlama yapan statik yüktür.

Uçaklarda statik elektrik, hem fırtınalı havalarda üzerlerine düşen yıldırımın etkisiyle hem de kabin içindeki elektronik elemanların yaydığı, kabloların oluşturduğu yüklerle ve insanların kabin içindeki malzemelere sürekli sürtünmesi ile de oluşmaktadır. Yolcu kabinlerine konulan ek teçhizatlar ve diğer malzemeler uçaktaki statik elektrik yükünü 25 bin volta kadar çıkarmaktadır.

İnsanların almış oldukları statik elektrik hem sağlıklarına hem de kullanmış oldukları elektronik cihazlara zarar vermektedir. Teknik personeller üzerlerinde oluşan statik elektriği, elektronik cihazların kullanımı ve taşınması esnasında devre elemanlarına boşaltır. Böylece elemanların kullanışsız hale gelmesine ya da ömürlerinin azalmasına sebep olabilirler.

Uçakta oluşan statik elektrik, uçuş bilgisayarının ve radarının arıza yapmasına sebep olmaktadır. Yıldırımın yol açtığı akım, uçağın dış yüzeyini yalayıp geçerken, iletilen yükün küçük bir kısmı, uçağın metal dış yüzeyindeki; örneğin pencere gibi açıklıklardan içeri girebilir ve eğer yolu üzerinde duyarlı elektronik aletler varsa, bunlar da arızalara yol açabilir.

Statik elektriğin akışı ile oluşan kıvılcım çevredeki narkoz gazlarının, petrol buharlarının patlamasına neden olabilir. Şekil 1.11' de Uzun süre araçta yolculuk yapan bir sürücünün, aracından çıkıp doğrudan benzin pompa tabancasına dokunması ile statik elektrikten meydana gelen yangından dolayı aracının son durumu görülmektedir. Bu olayın sebebi akaryakıt dolumu esnasında oluşan petrol buharının elektrostatik deşarj anında yanmasıdır.



Şekil 1.11 Statik elektriğin oluşturduğu kaza
(http://www.teknikvideo.net/statik-elektrik-kazasi.html)

Statik elektrik, plastik levha, kağıt, karton ve tekstil gibi yalıtkan malzemelerle çalışan birçok endüstrinin sorunudur. Elektrostatik itme veya çekme nedeniyle malzeme ya makinaya ya da birbirine yapışır. Bu da çok ciddi kalite sorunlarına yol açar, üretimin yavaşlamasına neden olur. Statik elektriklenme nedeniyle toz veya diğer kir parçacıkları malzemeye yapışır.

Çok yoğun elektrostatik birikme sonucu çıkan elektrik şokları personelde yaralanmalara yol açabileceği gibi, aynı zamanda yangınlara ve patlamalara da yol açabilir. Makinalarda bulunan sensörler, ölçme kafaları, yazıcı kafaları gibi elektronik malzemeler elektrostatik yüklenmeden etkilenebilir.

Statik elektrik endüstride faydalı ve önemli alanlarda da kullanılmaktadır. Örneğin, bazı fotokopi makinaları ve lazer yazıcılardaki mürekkep parçacıklarının kağıda basımını sağlayan mekanizma ile küçük kağıt parçacıklarının statik elektrikle yüklenmiş plastik bir tarağa yapışmasını sağlayan mekanizma aynıdır.

Statik elektrik endüstriyel tesislerin bacalarında havaya karışması istenmeyen küçük parçacıkları filtreleme aracı olarak da kullanılır. Konutlardan kömür santrallerinin bacalarına kadar kullanılan 'elektrostatik hava filtreleri' bu esasa göre çalışır (Anonim, 2007).

1.2.14 Statik Elektriklenmeye Karşı Alınabilecek Önlemler

Statik elektriklenmeye karşı önlem olarak elektrostatik yük birikmesine neden olabilecek kalın ipek veya duvardan duvara yün halılardan kaçınmak gerekir. Statik elektriğin tahrip edici etkilerinden korunmak için; petrol tankerlerinde ve cephane yüklü araçlarda yere değen zincirler, yüksek yapılarda da toprak bağlantılı paratonerler kullanılır.

Patlayıcı madde bulunan depoya çivili ayakkabılarla girilmesi tehlikelidir. İçeride çivisiz özel ayakkabı giyilir. Ayrıca depo görevlilerinin naylon, orlon, perlon gibi statik elektrik oluşturabilen giysileri kullanmaları da tehlikelidir, statik yük oluşturmayan özel giysiler kullanılmalıdır.

Özellikle rutubetli havalarda ve boydan boya halı ile kaplı olan evlerde oluşan statik elektrik, halı üzerinde duran "metal müzik seti sehpası" tarafından alınmaktadır. Aynı şekilde insan teması ile elektronik aletlere statik elektrik aktarımı olmaktadır. Bu elektrik o derece kuvvetlidir ki, sabah saatlerinde üzerinde kimse dolaşmadan bakıldığında halı üzerinde ve metal müzik sehpalar üzerinde basit ölçüm araçlarıyla görünmektedir. Metal müzik sehpaları, statik elektriğe karşı basit bir kablo ile en yakın prizden topraklanmalıdır (Anonim, 2007).

Statik elektriği önlemenin veya şiddetini azaltmanın yollarından biri, bulunulan ortamın nemlendirilmesidir. Çünkü nemli havada bulunan iyonlar statik yükün bir kısmını nötrler. Nem oranını %60'a çıkartmak, deşarj olasılığını azaltır. Fakat bu yöntem iyi bir çözüm değildir. Havadaki yüksek nem oranı, çalışanlar açısından rahatsız bir ortam oluşturduğu gibi yüzeylerde ıslaklığa ve donanımda daha hızlı paslanmaya yol açar. Ayrıca yüzeylerdeki ıslaklık, statik elektrik açısından iletkenlik sağlar.

Ortamın iyonize edilmesi ile yani ortamı elektronlarla ve artı yüklü atomlarla doldurarak, statik elektriklenmenin etkisi en aza indirilmeye çalışılır. Statik elektriklenme eksi yüklüyse, yüklü yüzey havadaki artı yükleri çeker ve yüksüz elektriksel duruma geri döner. Artı yüklü statik yük de benzer biçimde havadan çekilen elektronlar tarafından ortadan kaldırılır. İyonların ve elektronların havaya

verilmesi devam ettiği sürece, potansiyel bir tehlike olan statik yük birikmeleri anında dağıtılır.

İyonizasyon yöntemleri aktif ve pasif olmak üzere iki türlüdür. Pasif iyonizasyonda polonyum gibi radyoaktif kaynakların yaydığı ışınım havanın iyonize olmasını sağlar ve uzun ömürlü bir izotop seçilmişse işlem kendi başına yıllarca devam eder. Aktif iyonizasyonda ise havayı iyonlara ayıran elektriksel sistemler kullanılır (Anonim, 2007).

Ortamda oluşan statik elektrikten canlıları ve kullandığımız malzemeleri korumak için diğer bir yol da antistatik malzemelerin kullanılmasıdır. Bu malzemeler arasında antistatik önlük ve ayakkabılar, antistatik yer kaplamaları ve antistatik kimyasallar yer almaktadır. Antistatik bileklik karbon yedirilmiş bileklik ve kordondan oluşmuştur. Kullanan kişi üzerinde biriken yükleri nötralize etmeye yarar.



Şekil 1.12 Antistatik bileklik

Antistatik önlüklerin çoğu %89 naylon, %11 karbon alaşımlıdır. Karbon yedirilmiş kumaş elektriğin iletkenliğini sağlar. Dışarıdan ya da kıyafetlerin oluşturacağı statik yüklenmeyi önler. Tek katmanlı ve iletken olmaları gerekmektedir. Bileklikle de bağlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Antistastik yer kaplamaları da karbon yedirilmiş yer kaplamalarıdır. Taban, bakır barlarla örülmüş ve topraklanmıştır. Yapışkanı karbonludur, iletim sağlanmıştır, böylece yürüme esnasında statik elektrik oluşturması önlenmiş olur. Antistatik kimyasallar, halı, vinylex ya da kumaş gibi malzemelere uygulandıklarında çok ince antistatik katman oluştururlar.

1.2.15 Tekstil Materyallerinde Statik Elektriklenme

Tekstil materyalleri yalıtkanlık özellikleri sebebiyle özellikle sürtünme yolu ile üzerlerinde statik yük meydana getirirler. Bu statik yük hem tekstil materyallerinin üretim süreçleri sırasında hem de kullanım sırasında sorunlar ortaya çıkarmaktadır.

Tekstil üretim süreçlerinde; materyalin sürekli bir yerden başka bir yere aktarımı söz konusudur. Bu aktarım sırasındaki sürtünme ile materyaller ve makina aksamları üzerinde oluşan statik yüklerin çekim kuvvetleri, materyallerin hareketli sistemlere yapışmasına neden olabilir. Bu gibi durumlar üretimin yavaşlamasına yol açar ve ürün kalitesini olumsuz etkiler.

Kullanım sırasında ise tekstil materyali ile tekstil materyali arasında, tekstil materyali ile insan vücudu arasında ya da tekstil materyali ile temas ettiği diğer yüzeyler arasındaki etkileşim statik yük oluşturmaktadır.

Maddelerin elektron verme eğilimlerine göre sıralandıkları dizine triboelektrik dizini denir. Eğer bir madde diğer bir madde ile temasında elektronlarını verme eğilimindeyse triboelektrik dizininde diğerine göre daha pozitif yere sahiptir. Eğer elektron alma eğilimindeyse triboelektrik dizininde daha negatif bir yere sahip olur (Yöney, 2005). Maddelerin triboelektrik dizindeki konumları birbirinden ne kadar uzaksa aralarındaki statik elektriklenme etkisi o denli büyük olur. Şekil 1.13'de bazı materyallere ait triboelektrik dizin yer almaktadır.



Şekil 1.13 Bazı materyallerin triboelektrik dizini (Yöney, 2005)

1.2.15.1 Statik Elektriklenmenin Tekstil Materyallerinin Üretim Süreçlerine Etkisi

Bir tekstil materyalinin lif halinden son ürün haline gelinceye kadar geçirdiği süreç göz önüne alındığında statik elektriklenme açısından oluşabilecek birçok sorun sıralayabiliriz. Çünkü ister lif halinde, ister iplik, isterse de kumaş halinde tekstil materyali sürekli bir yüzeyle temas halindedir. Bununla beraber üretim süreçleri sırasında yüksek sıcaklıklara ve çeşitli kimyasallara maruz kalması da tekstil materyalinin statik elektriklenme özelliğini etkilemektedir. Bu etkenler üretim akışında ve ürün kalitesinde olumsuzluklara sebep olmaktadır.

Sürtünmeden kaynaklı problemlere bazı örnekler verecek olursak; çözgü makinasında ipliklerin bobinlerden çözülerek cağlık çıkışına kadar olan yol boyunca sürtünmeleri iplikleri statik yük ile yükler. Özellikle ince ipliklerde bu statik yük ipliklerin hat üzerinde sapmalar yapmasına, birbirlerine dolanarak kopmalara ve makinada duruşlara yol açması, zaman ve iş kaybı yaratır. Levent üzerine sarılan ipliklerin statik yüklü olmasının dokuma makinalarında da çeşitli problemlere yol açabileceği göz ardı edilmemelidir.

Sentetik liflerin eğrilmesi sırasında sürtünme ile oluşan statik elektriklenme nedeniyle lifler çekim sisteminin aksamlarına yapışarak üretimi olumsuz etkilemektedir. Liflerin üzerinde oluşan elektrostatik yük liflerin birbirine yapışmasına neden olarak liflerin kesitteki dağılımını etkiler ve iplik kalitesinde olumsuzluklara neden olabilir. Lifler üzerinde oluşan elektrostatik yükler ortamda bulunan yabancı maddeleri üzerlerine çekebilirler. Bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için sentetik lif üretimi sırasında liflerin düzeden çekilmesi sırasında lifler üzerine antistatik etki sağlayan avivaj maddeleri püskürtülmektedir. Avivaj maddeleri suda eriyen yağların uygun emülgatör kullanılarak elde edilen emülsiyonlarıdır, sulu bir yıkama işlemi ile lif üzerinden uzaklaşmakta dolayısı ile statik elektriklenmenin olumsuz etkilerini gidermek amacıyla üretim sırasında kullanılmaktadırlar (Gürcan, 1985).

Yün lifinin işlemesi sırasında ise yüne yumuşaklık kazandırmak, işlemler sırasında meydana gelebilecek lif kırılmalarını en aza indirmek ve statik elektriklenmeden kaynaklanabilecek sorunları engellemek için harman yağları kullanılmaktadır. Harman yağları yün lifinin işlenmesini kolaylaştırırlar. Ayrıca farklı hammaddelerden lif karışımları elde edilirken sürtünmeden kaynaklanan statik elektriklenmeyi engellemek için de antistatik harman yağları veya avivaj maddeleri kullanılmaktadır.

Boyama makinalarında kumaş boyama çıkışında sıcaklık uygulanarak kurutulmaktadır. Bu işlem sırasında sıcaklık ve kauçuk silindirler üzerindeki sürtünmeler kumaş üzerinde statik elektrik yükü oluşturur. Statik elektrik yüklerinin oluşturacağı çekim kuvvetleri, kumaşın çekme silindirlerine dolanması sebebiyle makinada duruşlara sebep olur ve ürün kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca depolanan ürünlerdeki statik yüklenme, ortamdaki tozun ve kumaş üzerinde kirlilik oluşturabilecek parçacıkların kumaş üzerinde birikmesine neden olmaktadır.

Top açma makinasında rulo şeklinde sarılmış kumaş, çözülmeye başladığı andan itibaren statik elektrik yüklenir, silindirler üzerindeki sürtünmelerle oluşan statik yükler de eklendiğinde ürün üzerindeki statik elektrik yükü çok yüksek düzeylere ulaşır. Yüksek statik yükler ürünün silindirlere sarılarak kısa ama sürekli durmalara,

makina operatörünün yüksek elektrik şoklarına maruz kalmasına ve tozlanmalara neden olacağından istenmeyen bir durumdur.

Kalite kontrol makinasında kumaş üzerindeki hatalar ışık altında kontrol edilerek tekrar rulo halinde sarılmaktadır. Kumaşın kontrol sehpasına sürtünmesi ve kauçuk silindir üzerindeki sürtünmesi kumaş rulosu üzerinde yüksek statik yük oluşturacaktır. Çıkış noktasında oluşan yüksek statik yük özellikle makina operatörünün elektrik şoklarına maruz kalmasına ve makinanın elektronik donanımının hasar görmesine neden olabilmektedir.

Sanfor makinalarında kumaş sıcak keçe ve baskı silindiri arasından geçirilir. Burada sürtünmenin etkisiyle statik yük oluşabilmektedir. Yüksek statik yük kumaşın silindirlere dolanarak kısa ve sürekli durmalara yol açmasına, operatörün elektrik şoklarına maruz kalmasına neden olabileceğinden ve makinanın elektronik donanımına zarar verebileceğinden istenmeyen bir durum yaratır.

Kumaş katlama makinasında, kumaş yüzeyini tüylendirmek için yapılan şardonlama işlemi sırasında, dokuma makinasında da sürtünmelerden kaynaklı benzer problemler ortaya çıkabilmektedir (www.antistaticbar.net, 2010).

Antistatik bitim işlemleri boya ve baskı işlemleri sonrasında hidrofobik sentetik liflerden üretilen kumaşlara uygulanmakla beraber kullanım yerlerine göre hammaddesi pamuk, ipek ya da yün olan kumaşlara da uygulanmaktadır. Örneğin bilgisayar odalarında kullanılan halılara, döşemelik kumaşlara, otomobillerin hava yastığı kumaşlarına, konveyör bantlara, filtrasyon kumaşlarına, havayolu kargo çuvallarına, paraşüt kumaşlarına, ameliyathanede kullanılan tekstil ürünlerine, yanıcı ortamlarda çalışırken kullanılan koruyucu giysilerin kumaşlarına antistatik bitim işlemi uygulanmaktadır.

Antistatik bitim işlemi mekanizmasının prensibi lif yüzeyinin iletkenliğinin artırılmasına (yüzey özdirencinin azaltılmasına karşılık gelir) ve yağlama etkisi sayesinde sürtünme kuvvetlerinin etkisinin azaltılmasına dayanır. AATCC TM 76'ya göre yüzey öz direnci; gerilim eğiminin akım yoğunluğuna oranına eşit malzemeye özgü olan bir özelliktir. Lif yüzey iletkenliğini artıran antistatik etmenler lif

yüzeyinde bir ara katman meydana getirirler. Bu katman genellikle higroskobik özelliktedir. Lifin yapısındaki nem miktarının artması iletkenliğin artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda iletkenliğin artması açısından yüzeyde hareketli iyonların varlığı çok önemlidir. Materyalin iletkenliği arttırılarak yüklü iyonların havaya doğru hareket ederek topraklanması sağlanır. Higroskobik antistatik bitim işlemi kimyasallarının etkisi kullanım sırasında havada bulunan nem miktarına bağlı olarak değişir. Nem miktarının düşük olması higroskobik yapıda yer alabilecek olan nem miktarının da düşük olmasına neden olur.

Antistatik etki sağlayan kimyasallar hem hidrofilik hem de hidrofobik gruplar içerirler. Yapılarındaki son gruplara göre katyonik, iyonik ve non-iyonik yüzey aktif antistatik kimyasallar bulunmaktadır. Aynı zamanda yüzey aktif madde olan çoğu non-polimerik antistatik kimyasal, lif yüzeyinde kendisine özgü yollarla yönlenebilmektedir. Higroskobik özellikleri sayesinde katyonik antistatik yüzey aktif maddeler lif yüzeyindeki hidrofobik yapıyı uzaklaştırarak yüzey iletkenliği artırırlar. Non-iyonik ve iyonik antistatik yüzey aktif maddelerin ise hareketli iyon oluşturma etkisi yüzey iletkenliği sağlamadaki en önemli faktördür. Antistatik maddelerin aşı polimerizasyonu ile liflere kovalent bağlarla bağlanması ya da lif yüzeyinde suda çözünmeyen antistatik bir zar oluşması sağlanarak antistatik bitim işlemlerinin yıkama ve kuru temizlemeye dayanıklılığı artırılabilmektedir (Schindler ve Hauser, 2004).

Yüzey aktif maddeler dışındaki antistatik kimyasallar arasında nitrojen bileşikleri (uzun zincirli aminler, amidler ve kuartener amonyum tuzları), asit esterleri ve türevleri, sülfonik asitler ve alkil aril sülfonatlar, polioksietilen türevleri, poliglikoller ve türevleri, polihidrik alkoller ve türevleri, fosforik asit türevleri, elektrolit solüsyonları ve erimiş tuzlar bulunmaktadır (Wiley ve Sons, 2011).

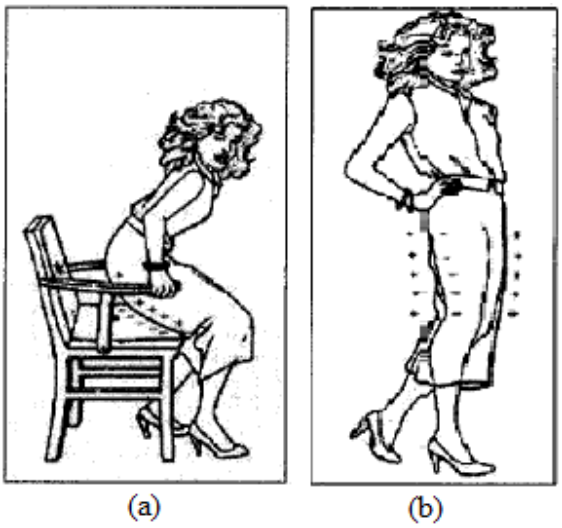
1.2.15.2 Statik Elektriklenmenin Giysi Konforuna Etkileri

Slater (1985), konforu vücut ve çevre arasındaki fizyolojik, psikolojik ve fiziksel uyumun sonucu ortay çıkan memnuniyet duygusu olarak tanımlamıştır. Bu açıdan bakılırsa giysi konforunu etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Kaplan (2009), giysi sisteminin çevreyle fiziksel, duyusal, psikolojik açılardan dinamik etkileşime sahip

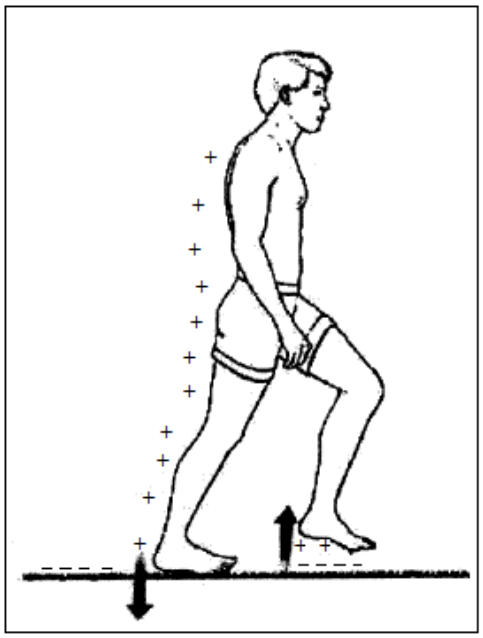
açık bir yapı olarak düşünülmesi gerektiğini belirtmiştir. Giysi konforuna çevresel etkilerin yanı sıra insan vücudu ile giysi arasındaki etkileşimin etkisi de göz önünde bulundurulduğunda statik elektriklenme önemli bir giysi konforu bileşeni olarak dikkat çekicidir.

Giysilerin kullanımı sırasında statik elektriklenme sebebiyle kişiyi konforsuz hissettirebilecek durumlar arasında giysilerin vücuda yapışması ya da astar ile beraber kullanılıyorsa astarın kumaşa yapışması ile kırışmalara neden olarak giysinin kişi üzerindeki görünümünü etkilemesi, kişinin vücudunda deri üzerinde meydana gelebilecek fizyolojik etkilerle karıncalanma meydana gelmesi, kazak gibi giysilerin çıkarılması sırasında saçların statik elektriklenme nedeniyle giysiye yapışması ile kişide huzursuzluk yaratması ve kapı tokmağı gibi metal aksamlara dokunulduğunda kişinin vücudundan metal aksama doğru gerçekleşen ani deşarjlar sonucu kişinin canının yanması sıralanabilir. Tüm bunların yanı sıra hem kişilerin vücudunda hem de giysiler üzerinde oluşan elektrostatik yüklenmenin yanıcı gazların bulunduğu ortamlarda deşarj olması durumunda kazalar meydana gelebilmektedir.

Şekil 1.14'de statik elektriklenme ve yükün indüksiyonu ile sandalyeden kalkan bir kişinin giysisinin vücuda yapışması şematize edilerek gösterilmektedir. Yapışmanın derecesi, birlikte giyilen kumaşların cinslerine bağlıdır. Şekil 1.15'de halı üzerinde yürüme sırasında statik elektrik yüklenme durumu görülmektedir(Balcı Kılınç, 2004). Ayakkabı halı ile her temas ettiğinde statik elektriklenme oluşmaktadır. Ayakkabı tabanı halı yüzeyi ile temas ettiğinde yüzeylerde eşit fakat ters yönlü yük oluşur. Yürüyüş sırasında yük, ayakkabı tabanı aracılığı ile vücudu terk edebilir. Bu durum ayakkabı tabanı ve halının elektriksel özdirençlerine bağlıdır.



Şekil 1.14 Bir kumaşın statik elektrik yüklenmesi ve yükün indüksiyonu
(a) Giysilik kumaşta pozitif, döşemelik kumaşta negatif yüklenmektedir.
(b) Giysideki yükler, vücuttaki yükleri etkilenmekte, giysi vücuda yapışmaktadır (Balcı Kılınç, 2004).

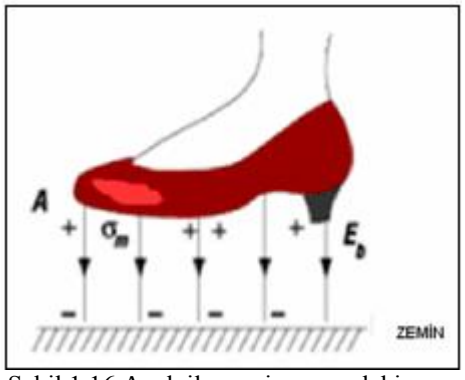


Şekil 1.15 Halı üzerinde yürüme sırasında statik yük birikimi (Balcı Kılınç, 2004)

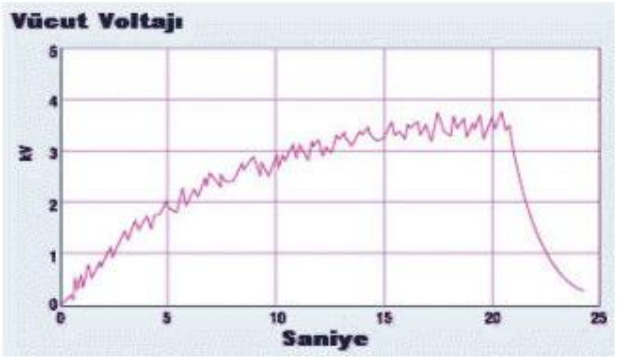
1.2.15.3 Statik Elektriklenmenin İnsan Fizyolojisine Etkileri

Günlük yaşamımızda giysilerimiz dışında da tekstil materyallerinden kaynaklanabilecek statik elektriklenmelere maruz kalmaktayız. Örneğin vücudumuzda en yüksek oranda statik yük oluşturan olaylardan bir tanesi halı

üzerinde yürümektir. Bunun dışında insan vücudu üzerinde elektrostatik yük oluşturan faaliyetler arasında plastik malzemeler taşımak, üzerinde fazla miktarda elektrostatik yük bulunduran materyaller ile fiziksel temas halinde bulunmak ya da yakınında bulunmak sıralanabilir.



Şekil 1.16 Ayak ile zemin arasındaki statik yüklenme (Adamhasan, 2008)



Şekil 1.17 Vinylex halı üzerinde insan vücudunda oluşan elektrostatik yüklenme (Adamhasan, 2008)

Vinylex halı üzerinde geçirilen zamana bağlı olarak, vücut üzerinde oluşan voltaj artmaktadır. Saniyeler mertebesinde oluşan bu statik yük günlük hayatımızda her an yaşadığımız bir olaydır. Üzerimizde binlerce volt statik yük mevcut iken, 250 volt ile bozulabilecek CMOS yapılı bir elektronik malzemeye dokunulursa ömrü azalmakta veya kullanılamayacak hale gelebilmektedir (Adamhasan, 2008). Üzerimizde biriken yüklerin bir elektronik devreyi bozabilecek etkiye sahip olduğu göz önüne alındığında vücudumuzda fizyolojik olaylara da etkisi kaçınılmazdır. Çünkü canlı organizmalarda atom ve molekülleri bir arada tutan kuvvetin temeli yine elektriksel etkileşimdir. Organ ve dokular arasındaki hücresel tüm etkileşimleri de organize eden kuvvetler elektriksel yapıdadır. Bu kuvvetlerde oluşabilecek en küçük bir

değişim organizmada onarılması güç hasarlar yaratabilir. Kişiler tarafından elektrostatik yüklerin vücut üzerinde oluşturduğu gerilim değerleri ve bu elektrostatik yük düzeylerinde meydana gelebilecek deşarjlarda insan vücudunun verdiği fiziksel karşılıklar Tablo 1.3'de yer almaktadır.

Tablo 1.3 Elektrostatik deşarj sırasında insan vücudunun verdiği fiziksel tepki düzeyleri (BS EN 7506-1:1995)

Deşarj enerjisi (milijolue)	**Bu deşarj enerjisini oluşturan vücut gerilimi (kilovolt)**	**İnsan vücudunun verdiği fiziksel karşılık**
1	3,6	Hissedilebilir etki
10	11,5	Kesin olarak hissetme durumu
100	36,5	Rahatsız edici bir şok etkisi
1000	115,0	Şiddetli bir kasılma
10000	365,0	Yaşamsal tehlike oluşturabilecek bir şok etkisi

Kökpınar (2000)'ın insan üzerinde biriken elektrostatik yüklerin fizyolojik ve psikolojik etkilerini araştırdığı çalışmasında önemli sonuçlar elde edilmiştir. Kan basıncı değerlerinin laboratuar koşullarında yapılan pozitif statik yükleme sırasında artış gösterirken negatif yüklemede azaldığı belirlenmiştir. İnsanlarda bir gerilim göstergesi sayılan el ter şiddeti pozitif yüklemede artarken artmakta, negatif yüklemede azalmakta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların nedeni, hücre içinde gerçekleşen biyoelektriksel olaylara bağlı olarak, eğer hücre içi negatif yüklerle dolarsa hücrenin uyarılmasının kolay, pozitif yüklerle yüklenirse uyarılmasının zor olmasından kaynaklanmasıyla açıklanmıştır. Yapılan psikolojik test sonuçlarına göre pozitif ve negatif yüklemeler sırasında ölçülen kaygı düzeyinde anlamlı bir değişim gözlenmemesine karşılık pozitif yükleme yapıldığında kısa süreli bellek testindeki hata sayısında anlamlı bir artış ve negatif yüklemede ise anlamlı bir azalma belirlenmiştir. Sonuç olarak laboratuvar koşullarında pozitif elektrostatik yüklerin canlı organizması üzerinde stres yaratıcı olumsuz etkiye sahip olduğu, negatif elektrostatik yük altında ise organizmada stresin azaldığı ve oldukça olumlu bir etki meydana geldiği ifade edilmiştir.

Kullandığımız giysilerin vücut üzerinde oluşturduğu statik yüklerin etkileri özellikle yapay liflerin kullanımının artmasıyla daha da önem kazanmıştır. Çünkü yapay liflerin insan vücudunda oluşturduğu elektrostatik alanın etkisi doğal liflere göre daha fazladır. Shafik (1996)'in farklı tekstil materyallerinin erkeklerin cinsel

davranışları üzerine etkisini araştırdığı çalışmasında poliester iç çamaşırlarının elektrostatik yüklenme etkisinden yola çıkılmıştır. Çalışmada %100 pamuklu , %50/50 poliester/pamuk , %100 poliester, %100 yün iç çamaşırı kullanımının erkeklerin cinsel davranışları üzerinde etkisi incelenmiş ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. İç çamaşırlarının deneklerin vücutlarında oluşturduğu elektriksel potansiyeller incelendiğinde poliesterin oluşturduğu elektrostatik potansiyel ortalama 456,6 volttur.

Deneklerin çalışma başlamadan (incelenen iç çamaşırlarını giymeden) önceki altı ay, çalışma başladıktan (iç çamaşırları giyilmeye başladıktan) sonraki ilk altı ay, çalışma başladıktan sonraki ikinci altı ay ve çalışmada kullanılan iç çamaşırlarının giyilmesi bırakıldıktan sonraki altı ay süresi boyunca cinsel davranışları incelenmiştir. Tablo 1.5'de verilen çamaşırların giyilmeye başlamadan 6 ay önceki, çamaşırların giyilmeye başlandığı ilk 6 ay ve ikinci 6 ay süresinde belirlenen cinsel davranış gerçekleşme sayısı/cinsel istek oluşma sayısı (I/M) oranlarına bakıldığında poliester ve pamuk/poliester çamaşırların kullanımı sırasında kişilerin cinsel davranışlarının olumsuz etkilendiği ve poliester içeren çamaşırlarının giyilmeyi bırakılmasından sonra deneklerin deneyden önceki cinsel davranış durumlarını kazandıkları görülmektedir (Shafik, 1996).

Tablo 1.4 Kişilerin vücudunda meydana gelen elektrostatik gerilim(Shafik, 1996)

Çamaşır Hammaddesi	**Ortalama Elektrostatik Gerilim (volt)**
Poliester	456,6
Pamuk/Poliester (50/50)	276,8
Pamuk	000,0
Yün	000,0

Tablo 1.5 Elde edilen sonuçlar (Shafik, 1996)

	Çalışmadan 6 ay önceki değerler			**Çamaşırların giyildiği ilk 6 aydaki değerler**			**Çamaşırların giyildiği ikinci 6 aydaki değerler**			**Çamaşırlar kullanılmayı bırakıldıktan sonraki 6 aydaki değerler**		
Çamaşır Hammaddesi	M	I	I/M	M	I	I/M	M	I	I/M	M	I	I/M
Poliester	625	625	1,0	544	343	0,63	407	98	0,24	610	547	0,89
Pamuk/Poliester (50/50)	708	708	1,0	655	482	0,73	606	308	0,50	540	500	0,90
Pamuk	605	605	1,0	660	660	1,00	712	712	1,00	640	640	1,00
Yün	600	600	1,0	766	766	1,00	808	808	1,00	633	633	1,00

M:Cinsel istek oluşma sayısı, I: Cinsel davranış gerçekleşme sayısı

1.2.16 Tekstil Materyallerinin Elektrostatik Özelliklerinin Belirlenmesi

Elektrostatik gerilim ölçümü iletken maddelerde doğrudan bir gerilim ölçme cihazı ile yapılabilir. Bunun için elektrostatik gerilimle yüklenmiş metal bölge ile toprak arasındaki gerilim ölçülmektedir.

Yalıtkan maddelerde ise gerilimin doğrudan ölçülmesi mümkün değildir. Buna karşın statik yüklü yalıtkan madde yüzeyinde bir elektriksel alan oluşur. Bu elektriksel alanın şiddeti elektrostatik voltmetre ile ölçülebilmektedir (Schemer ve diğer, 2005). Tekstil materyalleri yalıtkan malzemeler oldukları için üzerlerinde oluşan elektrostatik gerilim bu voltmetrelerle ölçülebilir. Bununla beraber tekstil materyallerinin statik elektriğin oluşturduğu elektriksel alandaki davranışları dielektrik(yalıtkanlık) özellikleri ile de ifade edilmektedir.

Tekstil materyallerinin elektrostatik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler dolaylı ölçüm yöntemleri, doğrudan ölçüm yöntemleri ve kullanımı simule eden yöntemler olmak üzere üç ana grupta değerlendirilir. (Mim, 1998)

Dolaylı ölçüm yöntemleri arasında ise tekstil materyallerinin belirli bir gerilim altında elektriksel direnç değerlerinin belirlenmesi, dielektrik özelliklerinin belirlenmesi, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak tekstil materyalinin iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi ve elektrokinetik potansiyel ölçümü bulunmaktadır. AATCC'nin 76 numaralı standardında (AATCC Test Method – 1995. Electrical Resistivity of Fabrics) arasından akım geçen iki elektrot arasına yerleştirilen kumaşın elektriksel direnci ölçülmektedir. Elektriksel direnç değerine göre tekstil materyalinin statik elektriklenme özelliğinin değerlendirmesi; 'materyalin elektriksel direnci ne kadar fazla ise üzerinde elektriksel yükü tutma derecesi o kadar fazla ve materyalin statik elektriklenmesi fazla olacaktır' şeklinde yapılmaktadır. Tablo 1.6'da iplik formundaki bazı tekstil materyallerinin %65 bağıl nemde ölçülmüş elektriksel direnç değerleri verilmektedir.

Tablo 1.6 İplik formundaki bazı tekstil materyallerinin elektriksel direnç değerleri (Morton, 1997)

Hammadde	**log R (%65 bağıl nem)**
Pamuk	6,8
Keten	6,9
Viskoz	7
Asetat	11,7
İpek	9,8
Yün	8,4
Naylon	9 -12
Akrilik	14
Poliester	14

Dielektrik sabitinin belirlenmesi prensibi ise yalıtkan malzemenin belirli bir kondanstörün iki paralel plakası arasına yerleştirilmesi sonucu ortaya çıkan kapasitans değerinin ölçülmesine dayanır. Düzlem levhalı bir kondansatörün sığası; $C_0 = (\varepsilon_0 * A) / d$ eşitliği ile verilir ve eşitlikte ε_0 boşluğun dielektrik sabiti, A kullanılan levhaların alanı, d iletken levhalar arası uzaklık, C_0 aralarında boşluk bulunan kondansatörün sığasıdır. Düzlem levhalı kondansatörün levhaları arasına bir dielektrik malzeme konulduğunda kapasite; $C= \varepsilon_r * \varepsilon_0 * (A/d)$ formülü ile ifade edilir. Malzemenin dielektrik katsayısı(ε_r), boşluğun dielektrik katsayısına(ε_0) oranlanarak bağıl dielektrik sabiti elde edilir. Dielektrik sabiti sıcaklık, bağıl nem ve ölçüm frekansından etkilenmektedir. Dielektrik sabiti malzemenin polarizasyon derecesini ifade eden bir büyüklüktür. Çünkü yalıtkan malzemelerde elektron ve atomlar elektrik alan etkisinde iken yer değiştirir ve bunun sonucunda elektriksel yük merkezleri kayar ve elektriksel polarizasyon meydana gelir. Bir tekstil materyalinin statik elektriklenme eğilimini dielektrik özellikleri ile değerlendirirken dielektrik sabitinin yanı sıra dielektrik kaybı ve dielektrik malzemede bulunan moleküllerin hareketinin ölçüsü olan relaksasyon zamanı ile beraber değerlendirmek gerekir. Tekstil materyalinin polarizasyon derecesi yani dielektrik sabiti büyük olduğunda statik elektriklenme eğilimin fazla olacağını, dielektrik sabiti küçük olduğunda statik elektriklenme eğiliminin az olacağını düşündürse de eğer malzemenin dielektrik kaybı(kayıp tanjantı) ve relaksasyon zamanı fazla ise statik elektriklenme sonucunda meydan gelen polarizasyon ve elektrostatik yük dağılma eğilimi gösterecek böylece malzeme üzerinde elektrostatik yük bulundurma eğilimi göstermeyecektir. Tablo

1.7'de bazı tekstil liflerinin 100 kHz ölçüm frekansında %65 bağıl nemde ölçülmüş dielektrik sabitleri verilmektedir.

Tablo 1.7 Bazı tekstil liflerinin dielektrik sabitleri (Morton, 1997)

Hammadde	**Dielektrik Sabiti**
Pamuk	6
Viskoz (kesikli lif)	5,3
Viskoz (filament)	7,1
Asetat (kesikli Lif)	3,3
Asetat (filament)	3,7
Yün	4,6
Naylon (kesikli lif)	2,9
Naylon (filament)	3,2
Akrilik	2,8
Polivinilklorid	2,6
Poliester	2,3

Dolaylı ölçüm yöntemleri ile elde edilen parametreler giysi kullanım koşulları açısından kumaşların statik elektriklenme eğilimlerini belirlemek için çok uygun olmadığından doğrudan ölçüm yöntemleri ile elde edilen veriler daha çok tercih edilmektedir. Doğrudan ölçüm yöntemleri arasında elektrostatik alan ve elektrostatik potansiyel ölçümleri, faraday kafesi yöntemleri, elektrostatik yüklenme ve boşalma oranlarının belirlendiği yöntemler bulunmaktadır. Doğrudan ölçüm yöntemlerinde ölçüm prensibi; statik elektrikle yüklenme şekillerinden biri kullanılarak tekstil materyali üzerinde oluşan elektrostatik alan ve elektrostatik potansiyel ölçümüne dayanmaktadır. Bu ölçümler elektrostatik alan ölçer ve elektrostatik voltmetre ile yapılabilmektedir. Faraday kafesi yönteminde ise materyal statik elektrikle yüklendikten sonra üzerinde oluşan toplam yük, elektriksel yük miktarını belirleyen bir osiloskop yardımıyla belirlenir. Elektrostatik yüklenme ve boşalma oranlarının belirlendiği yöntemlerde ise zamana bağlı olarak tekstil materyalinin elektrostatik yükle yüklenme ve boşalma davranışları incelenir.

Kullanımı simule eden test yöntemleri arasında temel giysilik kumaşlar için yapışma testleri, halılar için ise yürüme testleri yer almaktadır. Bu test yöntemleri arasında giysilik kumaşlar için AATCC'nin 115 numaralı standardı (ATTCC Test Method 115 – 1995 Electrostatic Clinging of Fabrics: Fabric to Metal Test), halılar için ise yine ATTCC'nin 134 numaralı standardı (ATTCC Test Method 134 – 1991

Electrostatic Propensity of Carpets) kabul görmektedir. ATTCC Test Method 115'de belirtilen kumaş-metal testinde elektrostatik yük ile yüklenmiş kumaş elektriksel kuvvetlerin etkisi ile metal plakaya yapışır ve biriken yük deşarj olmaya başlar. Metal plakaya yapışan kumaşın plakadan tamamen ayrılması için geçen süre belirlenerek ölçüm parametresi olarak kullanılır. ATTCC Test Method 134' de ise halı üzerinde gerçekleştirilen bir yürüme prosedürü sonucunda kişinin vücudunda oluşan elektrostatik gerilim değeri, üzerinde yürünen halının yürüme prosedürünün gerçekleştirildiği çevresel koşullarda ölçülen dikey ve yüzey direnç değerleri ile beraber değerlendirilmektedir. Dikey direnç ölçümleri materyal elektrotlar arasına yerleştirilerek ölçülürken, yüzey direnci ise elektrotların materyal yüzeyinde iki farkı noktaya yerleştirilmesiyle ölçülmektedir.

1.3 Yumuşatıcıların Tekstil Ürünlerinin Statik Elektriklenmesine Etkileri

Yumuşatıcılar hem tekstil terbiye işlemlerinde hem de giysilerin kullanımı sırasında yaptığımız yıkamalarda önemli bir yere sahiptir. Ayrıca yumuşatıcılar, tekstil terbiyesi bitim işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler içerisinde miktar olarak en fazla kullanılan kimyasal maddelerdir (Çoban, 1999). Tekstil terbiye işlemlerinde yumuşatıcılar tekstil materyaline aktarılarak tekstil yüzeyinin işlenme özelliklerini iyileştirmekte ve kullanım özelliklerini geliştirmektedir. Yumuşatıcı aktarımı ile kumaşta sağlanan başlıca etki çeşitleri, yumuşaklık, yüzey kayganlığı ve hacimliliktir. Yumuşak tutum tekstil ürünlerinin satışında önemli bir özelliktir. Bu nedenle piyasaya sunulmadan önce alıcı isteği uyandırmak, tutum ve giysi konforu açsından kullanım rahatlığı sağlamak amacıyla tekstil materyali yumuşatıcı ile işlem görmektedir. Üretim sonrasında ise; giysilerimizde kullanım ve yıkanma etkisiyle yumuşaklığın azalması nedeniyle giysiye yeniden yumuşaklık kazandırmak amacıyla yumuşatıcılar kullanılmaktadır. Yumuşak tutum dışında kumaşların tutum özellikleri açısından yumuşatıcı maddelerden beklenen diğer fonksiyonel özellikler; hidrofillik, antistatiklik, güç tutuşurluk, kir uzaklaştırma, dikilebilirlik, kırık önleyici, sürtme dayanımı ve antimikrobik etkilerdir.

Tekstilde kullanılan yumuşatıcılar genelde %15-25 oranında yüzey aktif madde içeren emülsiyonlardır. Yumuşatıcıların etkili maddeleri yağ asidi amin kondenzasyon bileşikleridir. Kullanılan amin cinsi ve yağ asidi miktarına göre non-

iyonik ya da katyonik yumuşatıcılar elde edilmektedir. Anyonik yumuşatıcılar ise yağ asidi bileşiklerinin sülfatlanması ya da fosfatlanması ile elde edilmektedir (Çoban, 1999).

1.3.1 Yumuşatıcıların Sınıflandırılması

Yumuşatıcılar, kullanım amacına göre endüstriyel ve ev tipi olmak üzere iki grupta, kimyasal yapılarındaki iyonite durumlarına göre de katyonik, anyonik, non-iyonik ve silikon olmak üzere dört grupta incelenirler. Endüstriyel kullanımlarda kumaşta sağlanması istenen özelliklere göre katyonik, anyonik, non-iyonik veya silikon yumuşatıcılar farklı işlem basmaklarında kullanılabilmektedirler. Ev tipi yumuşatıcıların kimyasal yapısı ise katyonik yüzey aktif madde içeren yumuşatıcılardır.

1.3.1.1 Katyonik Yumuşatıcılar

En iyi yumuşatma etkisine sahip yumuşatıcılardır. Az miktarda kullanılarak iyi bir yumuşatma etkisi sağlamak mümkündür. Hemen her tür life karşı afiniteleri vardır. Bu tür yumuşatıcılar daha çok kuarter amonyum bileşikleri, amin, aminoester, aminoamid v.b. gibi maddelerdir. Katyonik yumuşatıcıların tüm boyalı mamullerde kullanımı oldukça yaygındır. Katyonik yumuşatıcıların dezavantajları, optik ağartıcı ve anyonik yardımcı maddeler ile beraber kullanılamamaları, diğer yumuşatıcılara göre daha çok ortaya çıkan sarartma etkileri ve kumaşa su itici etki kazandırmalarıdır.

1.3.1.2 Anyonik Yumuşatıcılar

Anyonik yumuşatıcılar yağ asidi bileşiklerinin sülfatlanması ya da fosfatlanması ile elde edilmektedir. Önemli tipleri yağ asidi sodyum tuzları, yağ alkolleri sülfatları veya sülfonatları, yağ sülfatları veya sülfonatları, alkiloamid sülfatlarıdır. Anyonik yumuşatıcıların yumuşatıcı etkilerinin az olması ve substantifliklerinin olmaması nedeni ile kullanımları azalmıştır. Fakat kırık önleyici etikleri, optik beyazlatıcılarla beraber kullanılabilir olması, yeniden ıslanabilirlik etkilerinin iyi olması nedeniyle tercihen kullanılmaktadırlar.

1.3.1.3 Non-iyonik Yumuşatıcılar

Non-iyonik yumuşatıcılar genellikle parafin mumu ve polietilen esaslıdır. Non-iyonik yumuşatıcıların etkileri anyonik ile katyonik yumuşatıcıların arasındadır. Non-iyonik yumuşatıcıların herhangi bir elektrik yükü olmadığından substantiflikleri yoktur. Diğer yardımcı kimyasallarla beraber kullanımına uygundurlar. Sararma yapmadıklarından optik ağartıcılarla kombine edilerek yüksek beyazlık etkileri için kullanılırlar. Yumuşatma etkileri ise orta düzeydedir. Beyaz ürünler için kumaşa hidrofil ve antistatik etki sağlamada önemlidirler. Özellikle havlularda kullanılmaktadırlar.

1.3.1.4 Silikon Yumuşatıcılar

Silikon emülsiyonları tekstil terbiye işlemlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve çok iyi bir yumuşaklık, kayganlık sağlamaktadır. Bu polimerlerde silikon yapısındaki silisyum ve oksijen bağlarının değiştirilmesi esas alınmıştır. (Çoban, 1999, syf 140)

Etki mekanizması, silikon emülsiyonunun damlalara ayrılması ve lifin yüzeyi üzerinde ince bir silikon filmi şeklinde kalmasıyla açıklanır. Bu film lifler arasındaki sürtünmeyi azaltır ve hareketliliği arttırır. Bu hareketlilik sayesinde lifler birbiri üzerinden kolayca kayarak yumuşaklığın artması sağlanmış olur. Silikon yumuşatıcılar yapıları itibariyle iyi bir yumuşaklık, parlaklık, kayganlık ve kumaşa daha düzgün bir yüzey kazandırmaktadır. Çapraz bağ yapan reaktif amino silikonlar boncuklanma oluşumunu azaltmaktadır. silikon yumuşatıcılarla çalışırken fazın bozulmaması için pH ve sıcaklık değerleri çok iyi ayarlanmalıdır. Silikon yumuşatıcıların fiyatları yüksek olmasına rağmen uygulanmaları kolaydır (Şakar, 2008).

Silikon yumuşatıcıların kullanımında; uygulama şartlarına dikkat edilmez ise silikon lekeleri oluşabilir. Silikon yumuşatıcılar, katyonik yumuşatıcılar ile kombine edilerek uygulandığında daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

1.3.1.5 Özel Yumuşatıcılar

Bu grup altında amfoter, pseudo-katyonik ve çok fonksiyonlu yumuşatıcılar sayılabilir. Amfoter etkili yumuşatıcılar, sınırlı kullanım olanakları için üretilen özel yumuşatıcılardır. Bunların yumuşatıcı etkileri orta düzeyde olup daha ziyade beyazlar için mamule iyi bir hidrofillik ve mükemmel bir antistatik etki sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Pseudo-katyonik yumuşatıcılar, non-iyonik ve katyonik yumuşatıcılar arasında yer almakta ve yüksek alınma özellikleri ile katyonikler kadar iyi yumuşatıcı etkileri bulunmaktadır. Ayrıca bu ürünler beyaz kumaşlarda da kullanılabilmektedir.

Tablo 1.8 Önemli yumuşatıcı özellikleri (Hauser, Schindler 2004*)*

Yumuşatıcı çeşidi	**Yumuşaklık**	**Kayganlık**	**Hidrofillik**	**Substantiflik**	**Sarartmama etkisi**	**Köpük oluşturma**
Anyonik	*	**	**	(-)	**	
Katyonik	***	(-)	-	***	(-)	*
Amfoterik	**	-	***	*	(-)	(-)
Non-iyonik (etoksil)	*	**	**	**	*	(-)
Non-iyonik (polietilen)	*	***	(-)	(-)	*	**
Silikon	***	***	(-) ile* arasında	***	***ile* arasında	**

(*)orta, (**)iyi, (***)çok iyi, (-) bu özelliği taşımıyor

Bugün modern yumuşatıcı maddelerden istenen, onların daha çok fonksiyonlu olmalarıdır. Çok fonksiyonlu yumuşatıcılarda yumuşatma etkisi yanında hidrofillik, dikiş kolaylığı, antistatik etki gibi başka terbiye etkilerinin de kazandırılması amaçlanmaktadır. Çok fonksiyonlu yumuşatıcılar etki alanlarının geniş tutulması amacıyla, klasik yağ asidi amin kondenzasyon bileşikleri yanında daha başka katkı maddeleri de içermektedir.

1.3.1.6 Ev Tipi Yumuşatıcılar

AATCC'nin 2010 yılında yayımlanan teknik kılavuzunda ev tipi yıkama sırasında kullanılan sıvı kumaş yumuşatıcıları değerlendirilmiştir. Ev tipi yıkamalarda en çok kullanılan yumuşatıcılar, çamaşır makinesinde durulama sırasında kullanılan sıvı yumuşatıcılar ve kurutma makinesinde kullanılan kurutucu tipi yumuşatıcılar olarak belirtilmiştir.

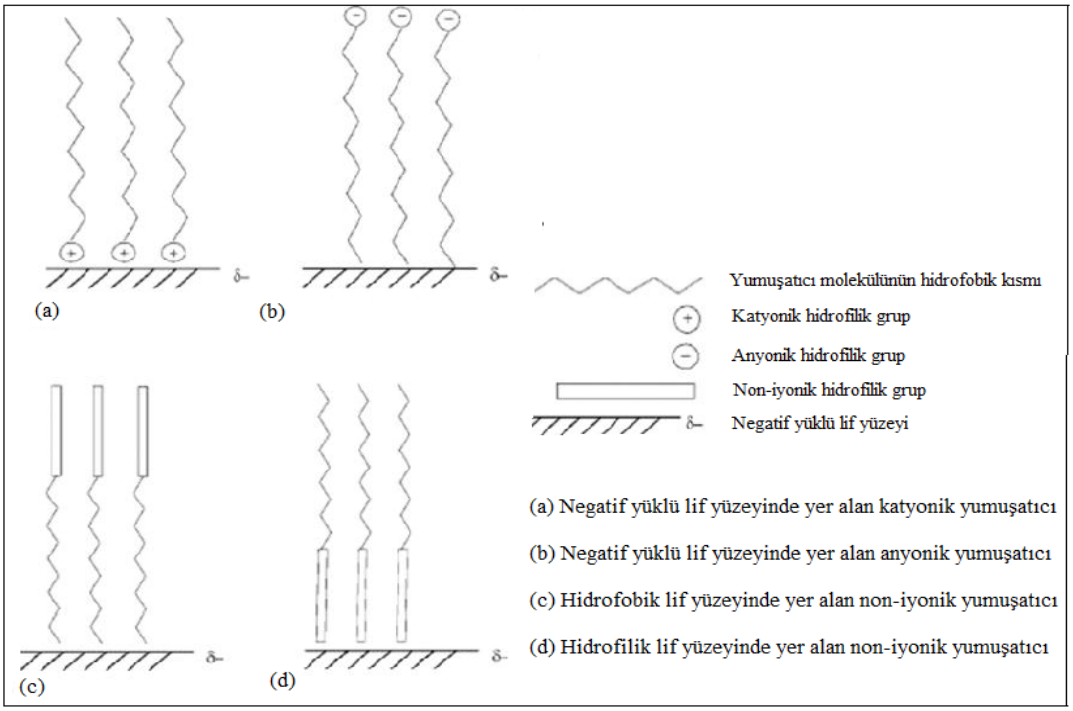
Ev tipi yumuşatıcılar giysilerin alındığı ilk zamanlardaki hissettirdikleri tutumun kullanım sonrasında da sürdürülebilmesi amacıyla 1960'larda geliştirilmiştir. Kullanım sırasında tekrar eden yıkamalar sırasında maruz kaldıkları mekanik etki sebebiyle kumaş yapısında yer alan lifler birbiriyle karışma eğilimi gösterirler ve giysilerin orijinal özellikleri kayba uğrar. Yıkamanın ardından kurutma makinasında yapılan kurutma sırasında lifler karışık bir şekilde kalır ve giysiler sertleşir. Eğer ürünler sentetik hammaddelerden üretilmişler ise statik elektriklenme eğilimi gösterirler ve bu durum kurutma makinesinde kurutma işlemi sırasında elektrostatik yapışmaya neden olur. Yumuşatıcıların kullanılması evde çamaşır yıkama ve kurutması sırasında çıkabilecek bu tip sorunların giderilmesine yardımcı olmaktadır.

Bütün ev tipi yumuşatıcılar kaurtener amonyum bileşeni bulunan bir katyonik yüzey aktif madde içermektedir. 1960'larda ilk üretilen yumuşatıcılar ditallow dimetil amonyum klorid (DTDMAC) , koku, elektrolit, renklendirici ve su emülsiyonundan oluşmaktaydılar. DTDMAC çok etkili bir yumuşatma performansına ve aynı zamanda antistatik etkiye sahiptir. 1980'lerin ortasında üreticiler birçok sıvı yumuşatıcıyı konsantre olarak piyasaya sürmüşlerdir. Yumuşatma performansını artırmak içi DTDMAC ile amidoamin kuarterner aktif içeriklerin, imidazoliniyum kuarterner aktif içeriklerin ya da imidazolinlerin kombinasyonları kullanılmıştır. Günümüzde ise yumuşatıcı pazarı müşterilerin taleplerine göre değişmeye devam etmektedir.

1.3.2 Yumuşatıcıların Etki Mekanizması

Yumuşatıcılar lif yüzeyine etkirler ve ek olarak küçük yumuşatıcı molekülleri lifin polimerik yapısına nufüz ederek camsı geçiş sıcaklığını düşürüp lifin içinde bir iç plastikleşme gerçekleşmesini sağlarlar. Yumuşatıcı moleküllerinin lif yüzeyi üzerindeki fiziksel yerleşimi Şekil 1.18'deki gibidir. Bu yerleşmenin şekli yumuşatıcı molekülünün iyonik yapısına ve lif yüzeyinin hidrofobikliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Katyonik yumuşatıcılar pozitif yüklü uçları ile kısmen negatif yüklü lif yüzeyine yönlenirler ve katyonik yumuşatıcının hidrofobik karbon zincirlerinden oluşan uçları yeni bir yüzey oluşturur. Böylece kumaş üzerinde kaygan ve yumuşak bir yüzey elde edilir. Anyonik yumuşatıcılar ise katyonik yumuşatıcıların tam tersine kısmen negatif yüklü lif yüzeyine hidrofobik kısımları ile

tutunurlar. Böylece kumaş yüzeyinde hidrofilik etki artar. Katyonik yumuşatıcılara göre daha az yumuşatma etkisi yaratırlar. Non-iyonik yumuşatıcılar ise lif yüzeyinin hidrofil ya da hidrofob olma durumuna göre hidrofil lif yüzeyine hidrofil kısımları ile hidrofob lif yüzeyine ise hidrofob kısımları ile tutunurlar (Hauser, 2004).



Şekil 1.18 Yumuşatıcı moleküllerinin lif yüzeyinde şematik yerleşimi (AATCC, 2010)

1.3.3 Yumuşatıcıların Tekstil Ürünleri Üzerindeki Etkileri

AATCC'nin teknik kılavuzunda kumaş yumuşatıcılarının etkileri altı sınıfta incelenmiştir.

1.3.3.1 Yumuşaklık Etkisi

Durulama sırasında ev tipi yumuşatıcıların içerdiği katyonik aktif bileşenler kumaş yüzeyine etkir. Dialkil kuartener yumuşatma etmenleri pozitif yüklü amin grubu ve yağ zincirlerinden oluşmaktadır. Öncelikle kuartener aktif etmenler kumaşa bağlanır ve bu etmenleri, yağ zincirleri kumaş yüzeyine dik olacak şekilde yönlendirir. Bu yapı liflerin kumaş içinde karışık hale gelmesini engeller. Yumuşatıcı maddenin lifleri yağlaması kumaş yüzeyinde daha az sürtünme etkisi yaratır ve kumaş yüzeyinde yumuşak bir tutum sağlar. Giysilerin yumuşaklığı tüketicinin giysiyi kullanımı sırasında dokunsal konfor algısının artmasını sağlar.

1.3.3.2 Statik Elektriklenmeyi Önleme Etkisi

Kumaş yumuşatıcıları liflerin yağlanmasını sağlayarak sürtünme etkisini azaltıp kurutma makinası içinde meydana gelen statik elektriklenmeyi önleme yönünde etki ederler. Yumuşatıcılar, içerdikleri aktif bileşenlerinin iletkenlik özellikleri sayesinde kurutucu içinde farklı lif içeriklerine sahip giysilerin oluşturdukları elektrostatik yüklerinin nötrlenmesine yardımcı olurlar.

1.3.3.3 Koku Etkisi

Ev tipi kumaş yumuşatıcılarının çoğunun yapısında güzel koku ve tazelik sağlayan bileşikler yer almaktadır. Bu bileşiklerin sağladığı taze kuru kumaş kokusu günlerce sürebilmektedir. Tüketicilerin bir çoğu bu taze yaş ve kuru kumaş kokusunu ürünün tamamen temiz oluğu izlenimi ile ilişkilendirmektedir.

1.3.3.4 Görünüm ve Renk Etkisi

Yumuşatıcıların kullanımı yıkama sonrasında daha iyi renk görünümü sağlar. Yumuşatıcı bileşenlerinin yağlama etkisi kumaşın aşınmaya karşı dayanımını artırır ve bu durum kumaşın görünümünde değişiklik olmamasına, giysinin ömrünün uzamasına yardımcı olur.

1.3.3.5 Kırışıklık Önleme Etkisi

Yumuşatıcılar, kumaş içinde lifin life sürtünmesini azaltarak yıkama sırasında kumaşın daha az kırışmasını sağlar ve böylece giysiler daha kolay ütülenirler.

1.3.3.6 Yanıcılık Üzerine Etkisi

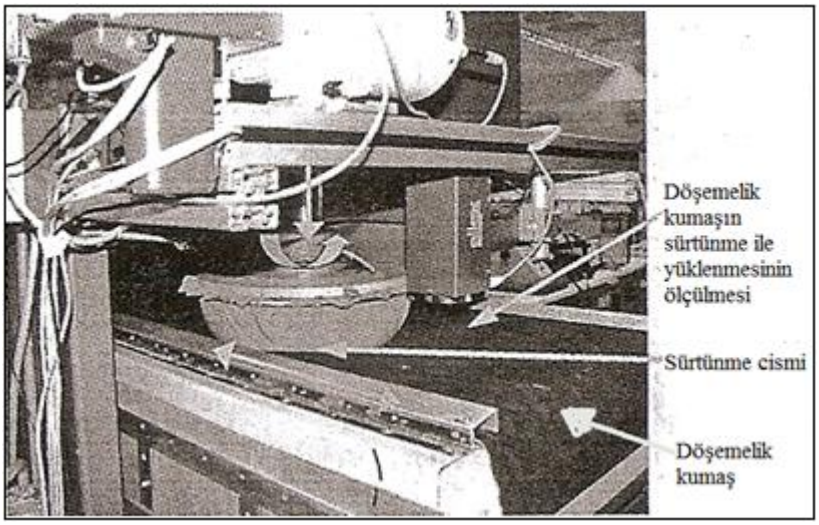
Yumuşatıcıların kumaşların alev alma direncini düşürmesi nedeniyle yumuşatıcıların çocuk pijamalarında ve güç tutuşur etiketli ürünlerde kullanımı tavsiye edilmez.

Ayrıca çamaşır yumuşatıcılarının performans özellikleri TS 13274 Standardı'na göre de; çamaşıra yumuşaklık kazandırma etkisi, çamaşırın su iticiliğine etkisi,

çamaşırın beyazlığını koruması ve çamaşırın statik elektriklenmesine etkisi olarak sınıflandırılmıştır.

1.4 Önceki Çalışmalar

Shhemer ve arkadaşları (2005,a) döşemelik kumaşların statik elektriklenme özelliklerini inceledikleri çalışmalarında; ITV döşeme test cihazından yararlanarak, gerçeğe yakın zorlama, sürtünme ve basınç uygulamak suretiyle poliester döşemelik kumaşların statik yüklenme etkilerini incelemişlerdir.

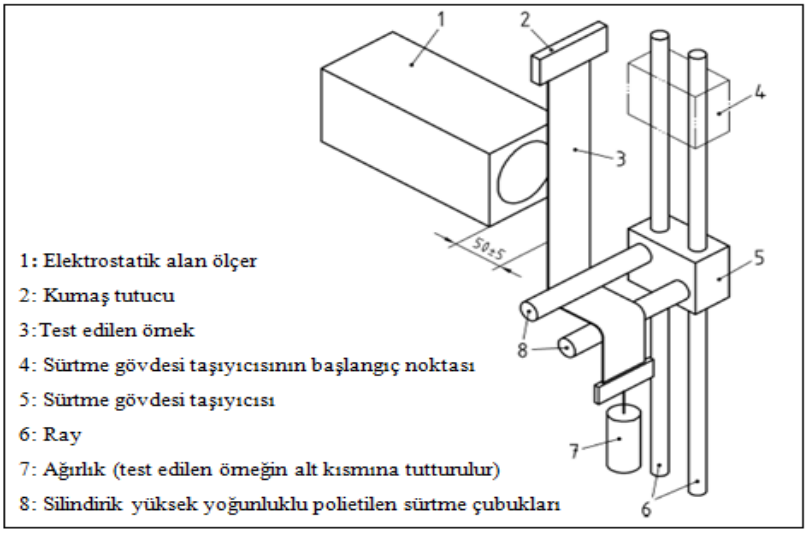


Şekil 1.19 Döşemelik kumaşın sürtünme ile elektriklenmesi düzeneği

Statik yüklenme etkisi, koltuk döşemesi ile bunun üzerine gerilmiş sürtünme partneri (giysi) arasındaki yüklenme, tüm sürtünme ve ayrılma prosesleri boyunca bir serbest elektrostatik voltmetre ile tespit edilmiştir. Aşağıdaki grafikte %30 ve %50 bağıl nemde, üç farklı örgüdeki poliester döşemelik kumaşa yünlü pantolonluk kumaşın sürtünmesi ile döşemelik kumaşta oluşan statik elektrik değerleri verilmiştir. Buna göre antistatik terbiye işlemi görmüş kumaşlarda statik elektriklenme azalmıştır. %50 bağıl nemde test edilen döşemelik kumaşların statik elektriklenmesi %30 bağıl nemdekine göre daha düşük elde edilmiştir.

Shhemer ve arkadaşları (2005,b) giysilik kumaşların elektrostatik tutumlarını inceleyerek aynı kumaşların konfeksiyon üretimi sırasında mamul kontrolde istifleme yapılırken, ham kumaş kontrol ünitesinde meydana getirdiği elektrostatik yüklenme özelliklerini karşılaştırmışlardır. Kumaşların elektrostatik özellikleri, EN

1149-3’ e göre Şekil 1.20’de verilen düzenekte kumaşlar sürtünme ile elektriklendirilerek oluşan elektrostatik alan değerleri ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 1.20 Statik elektriklenme ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi (Schemer, 2004)

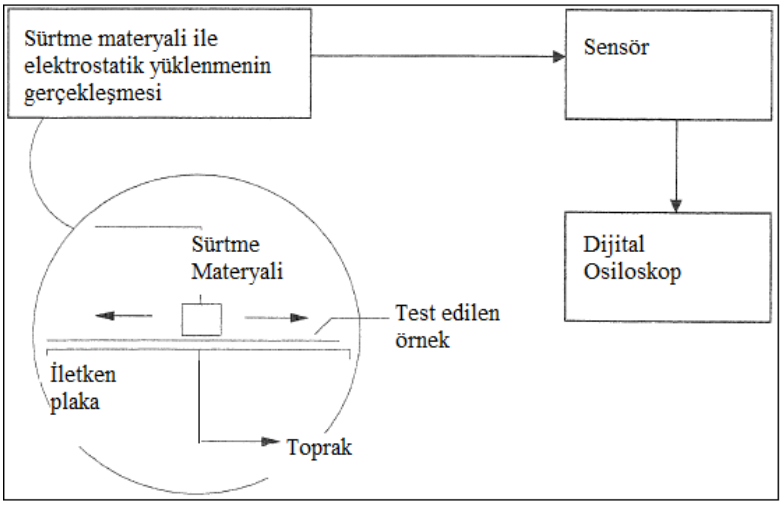
Konfeksiyonda üretim sırasında yapılan elektrostatik ölçümler ve değerlendirmeler sonucunda; kumaş serim makinasında kıvrılmış kenarlar, düzgün olmayan akış ayarları nedeniyle yüksek elektrostatik yüklenme, elektrostatik yüklenmeler sonucunda mamul kontrolde kumaş üzerindeki uçuntu ve tozların uzaklaştırılamadığı, elektrostatik yüklenme sebebi ile çalışma hızında düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında test edilen kumaşların elektrostatik yüklenmeleri ile üretim sırasında oluşturdukları elektrostatik yüklenmenin uyumlu olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zhao (2003), çalışmasında tekstil materyallerinin sürtünme ile elektriklenmesine sürtme materyalinin etkisini araştırmıştır. Çalışmasında doğal, rejenere, kimyasal liflerve karışımlarından oluşan kumaşları incelemiştir. Sürtme materyali olarak da PTFE (poli-tetra-flor-etilen), PVC (polivinilklorür) ve poliamid tercih etmiştir.

Tablo 1.9 İncelenen Kumaşların Hammaddelerine Göre Sınıflandırılması (Zhao, 2003)

Doğal Lifler	**Rejenere Lifler**	**Kimyasal Lifler**	**Karışımlar**
Pamuk	Viskon	Poliester	60/40 Pamuk/Lyocell
FR Pamuk	Lyocell	Poliamid 6,6	70/30 Poliester/Pamuk
Yün	Di-Asetat	Akrilik	65/35 Poliester/Pamuk
Keten	Tri-Asetat	Modakrilik	55/45 Poliester/Yün
İpek		Olefin	
		Meta-Aramid	
		Cam Lifi	

Çalışmanın bağımsız değişkenleri hammadde ve sürtme materyali iken bağımlı değişkeni ise statik elektriklenmenin oluşturduğu elektrostatik gerilim değeridir. Kullanılan test yöntemi, Gonzalez ve arkadaşlarının 1996'da geliştirdikleri, prensibi sürtünme ile elektriklendirilmiş yüzeyden elektrostatik gerilim ölçümü olan, test yöntemidir. Testler, % 30 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Test cihazının şematik gösterimi Şekil 1.21'deki gibidir.



Şekil 1.21 Kullanılan test düzeneğinin şematik gösterimi (Zhao, 2003)

Çalışmada kullanılan kumaşlardan bir matris oluşturulup birbirleri ile sürtülerek, çalışmada yer alan kumaşların triboelektrik dizini de elde edilmiştir. Elde edilen dizin Şekil 1.22'de verilmektedir.

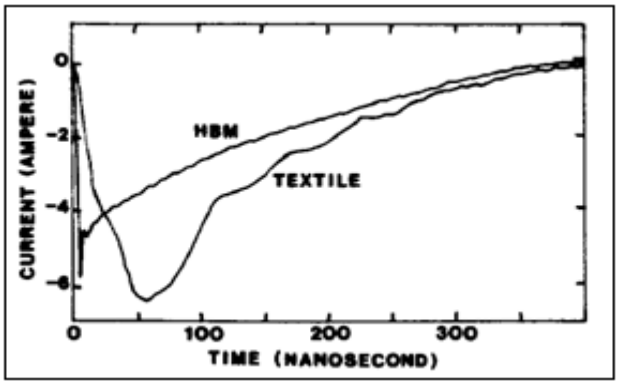
Cam Lifi	(+)
Poliamid 6,6	
Yün	
Pamuk	
Viskoz	
Lyocell	
Pamuk/Liyocel	
Keten	
Di-asetat	
İpek	
Tri-asetat	
Olefin	
Polivinilklorür	
Meta-aramid	
Poliester/Yün	
Poliester	
Poliester/Pamuk	
Akrilik	
Modakrilik	
Teflon	(-)

Şekil 1.22 Kumaşların triboelektrik dizini (Zhao, 2003)

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; kumaşlar üzerinde oluşan elektrostatik gerilim hammaddeye göre değişim göstermekte, selüloz esaslı liflerde daha az elektrostatik gerilim oluşmaktadır ve kumaşlar üzerinde oluşan elektrostatik gerilim miktarı sürtme materyaline göre değişim göstermektedir. Farklı üç sürtme materyali ile muamele edilen kumaşlar, üzerlerinde oluşan yük miktarına göre sıralandıklarında üç grupta da farklı konumlarda yer almışlardır. Ayrıca bitim işlemleri, boyama özellikleri, kumaşları oluşturan ipliklerin üretim yöntemlerinin ve kumaş örgü tipinin tekstil materyallerinin elektrostatik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir.

Holdstock (1997) yaptığı çalışmada tekstil yüzeylerinden kaynaklı elektrostatik deşarjın neden olduğu zararları incelemiştir. Çalışmanın amacı, tekstil yüzeylerinden kaynaklı elektrostatik deşarj ile insan vücudu modeli kapasitansa sahip devreden kaynaklı elektrostatik deşarjı karşılaştırmak ve hassas elektronik devrelere statik elektrikle yüklenmiş poliester kumaşın deşarj olması sonucunda devrelerde nasıl bir etki oluşacağını araştırmaktır. Deneylerde temiz oda giysilerinin üretiminde tercih edilen %100 poliester filament iplikten üretilmiş kumaş kullanılmıştır. Poliester kumaşı statik elektrikle yüklemek için sürtünme ile elektriklenme yöntemi, sürtme materyali olarak da naylon tercih edilmiştir. Naylon tercih edilmesinin sebebi; poliester ve naylonun triboelektrik dizinde farklı uçlarda yer almasındandır. Testlerin yapıldığı ortamın koşulları 23 °C' ve %35 bağıl nemdir. 40 tane ayrı hafıza kartı ayrı ayrı statik elektrikle yüklü poliester kumaştan kaynaklı deşarja maruz bırakılmıştır ve sonrasında oluşan hata türleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra üzerine kumaştan elektrostatik deşarj gerçekleşmiş hafıza kartlarına daha sonra 8 günlük hızlandırılmış ömür testi yapılmıştır. Bu 8 günlük test 10 yıllık kullanıma karşılık gelmektedir. Yapılan testler sonucunda poliester kumaştan kaynaklı elektrostatik deşarja maruz kalan cihazlardan 9 tanesi bozulmuş, 5 tanesinde fonksiyonel hatalar ortaya çıkmış, hızlandırılmış ömür testinden sonra ise 4 tanesinde de geri dönüşü olmayan arızalar meydana gelmiştir.

Çalışmada ayrıca ANSI/EOS/ESD-S5.1-1993 Standardına göre bir kısa devreye tipik statik elektrik yüklü bir tekstilin yaptığı deşarj ve insan vücudu modeli deşarjı karşılaştırılmıştır.

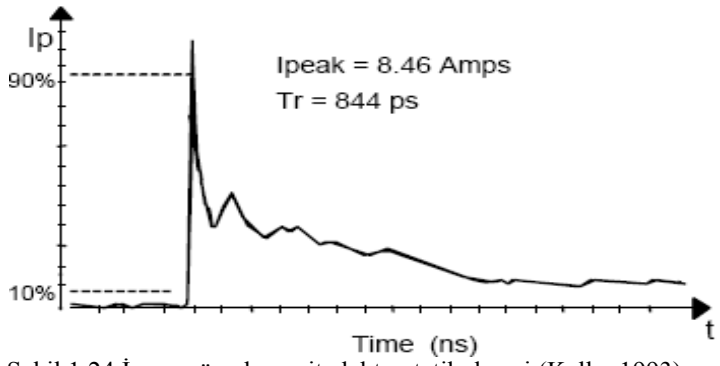


Şekil 1.23 Bir kısa devreye kumaştan ve insan vücudu modelden gerçekleşen deşarj (Holdstock, 1997)

Şekil 1.23'deki grafiğe göre kumaştan deşarj sırasında başlangıç akım artış süresi ile insan vücudu modelden deşarj sırasındaki başlangıç akım artış süresi aynı değildir. Ancak oluşan akımın genliği kumaştan deşarjda ve insan vücudu modelden deşarjda aynıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre; kumaştan kaynaklı deşarjın test edilen hafıza kartlarında kullanılamayacak derecede hasarlara, fonksiyonlarının bozulmasına ve daha sonraki kullanımlarda ortaya çıkabilecek hasarlara neden olduğu gösterilmiştir.

Kelly ve arkadaşları (1993) insan vücudunun elektrostatik deşarjı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmanın amacı elektrostatik deşarjı konu alan MIL-STD 883C Method 3015.7 standardında yer alan insan vücudu modelindeki elektrostatik deşarj dalga formu ile gerçekte insan vücudundan oluşan elektrostatik deşarjın dalga formunun karşılaştırılmasıdır. İnsan vücudunun dalga formunu belirlemek için çok sayıda denek çalışmaya katkı koymuştur. Denekler farklı kilo, farklı boy ve farklı cinsiyettedirler. Deneyler 23 +/- 4°C sıcaklıkta ve 32 +/- 5 bağıl nemde yapılmıştır. İnsan vücudundan kaynaklı elektrostatik deşarj belirlenirken 1 GHz bant genişliğine sahip dijital sinyal çözümleyici ve Pellegrini'nin 1984'de tanımladığı elektrostatik deşarjı sönümleyici eleman kullanılmıştır. Ölçüm ekipmanları; yüksek gerilim sağlayan kaynak, elektrostatik deşarj simulatör kaynağı, yüklenme ve deşarj sırasında kullanılmak için çok sayıda metalik çubuktan oluşmaktadır ve bu ekipmanlar yalıtkan cam plaka üzerine yerleştirilmiştir. Denekler üzerindeki ölçümler de bu yalıtkan plaka üzerinde yapılmıştır. Denekler deney sırasında 2 kV gerilim ile yüklenmiş ve deşarj sırasında ise çelik, pirinç çubuk ve paslanmaz çelik tornavida

kullanılmıştır. Elektrostatik deşarj dalga formları elde edilmiştir. 2 kV ile yüklenmiş ve metalik çubuk ile deşarj olmuş bir insan vücuduna ait dalga formu Şekil 1.24'de yer alan grafikteki gibidir.

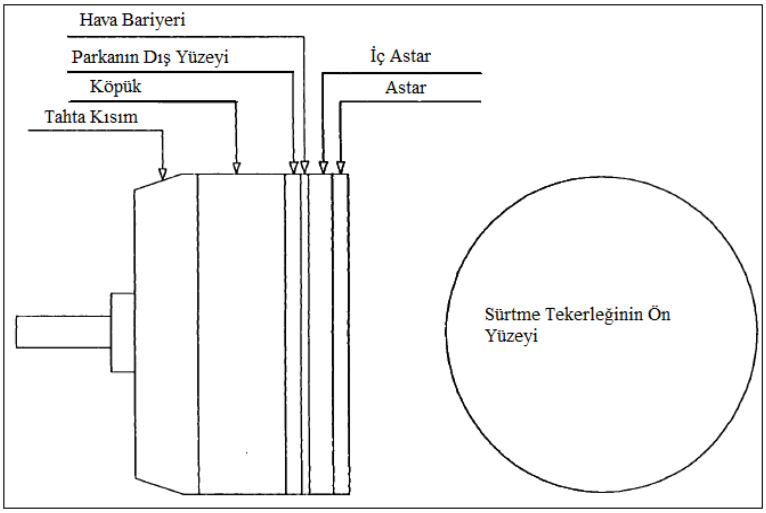


Şekil 1.24 İnsan vücuduna ait elektrostatik deşarj (Kelly, 1993)

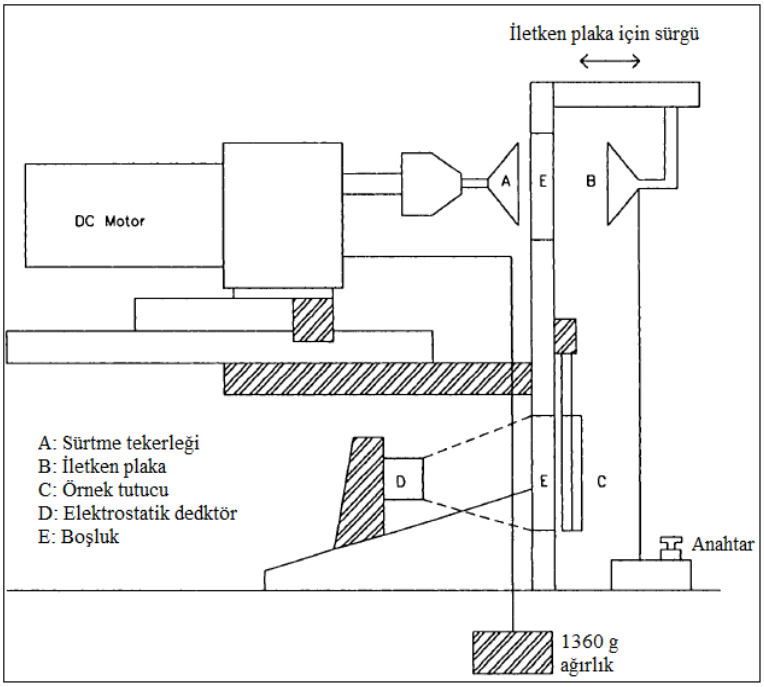
Çalışma sonucunda denekler üzerinden yapılan ölçümlerden elde edilen elektrostatik deşarj dalga formunun, MIL-STD 883C standardında belirtilen insan vücudu modelinden elde edilen dalga formundan farklı olduğu ortaya konulmuştur. Mevcut elektrostatik deşarj test yöntemlerinde yer alan insan vücudu modellerindeki elektrostatik deşarj verilerinin güncellenmesi gerektiği belirtilmiştir. Deneklerle yapılan ölçümler sonucunda; başlangıç gerilimine vücut ölçüleri ve vücut şekillerinin önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak deri iletkenliğinin, vücut kimyasının ya da daha başka faktörlerin etkisinin olabileceğine vurgu yapılmıştır.

Grant (1998), insan vücudundan giysi çıkarılmasını simule ederek düşük nemde termal koruyucu giysilerin statik elektriklenme eğilimlerini incelemiştir. Çalışmada; kumaşların elektrostatik özellikleri belirlenirken giysi çıkarılmasını simule eden bir yöntem geliştirilmesi, 22°C sıcaklıkta %0 ve %20 olmak üzere iki farklı bağıl nemde termal koruyucu giysilerin elektrostatik deşarj gerilimlerinin ve elektrostatik deşarj enerjilerinin belirlenmesi ve test cihazının sürtme hızının ve baskı miktarının kumaşların elektrostatik özelliklerine etkisinin belirlenmesi, bu yeni yöntemle elde edilen verilerin aynı kumaşların insanlarla yapılan deneylerinden elde edilen verilerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. İnsanlarla yapılan deneylerin verileri daha önceki bir çalışmadan alınmıştır. Elektrostatik özellikleri belirlemek için Gonzalez ve arkadaşlarının (1997) ASTM F23.20.05 Standardı'nın modifiye edilmiş

versiyonunda geliştirdikleri sürtünme ile elektriklenme prensibine dayanan test cihazı üzerinden bazı değişiklerinin yapıldığı cihaz kullanılmıştır. Standart yöntemden farklı olarak sürtme materyali olarak çok katmanlı kumaş yapısına sahip aramid/karbon ve güç tutuşur pamuk parka kumaşı tercih edilmiştir iç astar ve astar kapitone dikişi ile dikilmiştir. Sürtünme alanı 127 cm^{2}'dir.



Şekil 1.25 Sürtme tekerleğinin kesiti (Grant,1998)



Şekil 1. 26 Sürtünme ile elektriklenme test cihazının kesiti (Grant,1998)

İnsan vücudunun kapasitansını temsil etmek amacıyla iletken plaka 200 pF kapasitansa sahip kapasitör ile birleştirilmiştir. Ölçüme başlamadan önce örnekler

üzerinde bulunabilecek elektrostatik yükleri nötrlemek için statik eliminatör kullanılmıştır. En yüksek deşarj gerilimini ölçmek için de dijital osiloskoptan faydalanılmıştır. Her örnek için gerilim dalga boyundan Q = I dt = (1/R) V dt formülü ile toplam transfer edilen yük miktarı hesaplandıktan sonra deşarj enerijisi E = (1/2) QV formülü ile belirlenmiştir. Sürtme materyalinde kullanılan parka kumaşı dış giysi olarak, test edilecek tulum kumaşları ise iç giysi olarak değerlendirilmiş ve böyle kullanım sırasında parka ile parkanın içine giyilen tulumun birbirine sürtünmesi simule edilmiştir. Giysi çıkarma hareketi ise sürtme işlemi sonrası test edilen örneğin örnek tutucu ile osiloskobun önüne hareket ettirilmesi ile simule edilmiştir. Çalışmada; hammaddeleri sırası ile aramid/karbon, güç tutuşur pamuk, aramid/PBI, aramid/ güç tutuşur viskoz ve insanlarla yapılan deneylerde kullanılan aramid/karbon olan beş farklı tulum kumaşı kullanılmıştır. Deneyler nemin etkisini belirlemek için %0 ve %20 olmak üzere iki farklı bağıl nemde, sürtme hızının etkisini belirlemek için 25 devir/dk ve 100 devir /dk olmak üzere iki faklı hızda, sürtme sırasındaki baskı miktarının etkisini belirleyebilmek için 200g, 780g ve 1360g olmak üzere üç faklı baskı miktarında yapılmıştır. Ortam sıcaklığı bütün deneyler sırasında 22°C'dir.

Yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde; geliştirilen küçük ölçekli test yönteminden elde edilen sonuçlar ile insanlarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar arasında ilişki kurulabileceği ve bu yönteme yapılabilecek başka ilavelerle korelasyonun artabileceği belirtilmiştir. Nemin test edilen her kumaş sistemini aynı yönde etkilemediği sonucuna varılmış ve bu sonucun sebebi; kumaş yapısında yer alan liflerin absorbe edebileceği nem miktarının ve bu nem içerisinden doğrudan bağlanmış su molekülü içerme miktarının test edilen tulum kumaşlarında farklı olabileceği durumuna bağlanmıştır. Kumaşların elektrostatik özellikleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ise %0 bağıl nemde %20 bağıl nemdeki sonuçlara göre daha fazla fark meydana gelmiştir. Sistematik olarak sürtme hızı ve sürtme sırasındaki baskı miktarı artırıldığında test edilen kumaşlar üzerinde oluşan elektrostatik gerilimin artış göstermesi beklenmiştir ancak bu değerlendirme çalışmada kullanılan tüm materyaller için geçerli olmamıştır.

Varnaite ve Katunskis (2009,a) iletken iplik içeren dokuma kumaşların elektrostatik özelliklerine aşınmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışmada incelenen kumaşlar elektromanyetik radyasyona ve statik elektriklenmenin zarar verici etkilerine karşı üretilmiş, atkı iplikleri arasında iletken iplik içeren kumaşlardır. Poliester/INOX ve gümüş kaplanmış poliester iletken iplikler iki ayrı grupta poliester ve poliester/pamuk(65/35) ipliklerle beraber bezayağı örgü yapısında dokunmuşlardır. Kumaşlar iki iletken atkı ipliği arasındaki iletken olmayan iplik sayısına göre Tablo 1.10'daki gibi sınıflandırılmıştır. Aşınma işlemi Nu-Martindale 406 Aşıma Test Cihazında 5000, 10000, 15000, 25000, 35000, 45000 olmak üzere 6 farklı turda 12kPa yük uygulanarak yapılmıştır. Testlerin yapıldığı ortam koşulları 23 ±1 °C sıcaklığa ve % 25 ±5 bağıl neme sahiptir. Kumaşların dikey ve yüzey dirençleri 250 Volt gerilimde direnç ölçer(Ohm-meter) ile ölçülmüştür. Yük boşalma parametreleri indüksiyonla yüklenme prensibine göre çalışan ICM-1 cihazı ile ölçülmüştür. Cihazdan elde edilen parametreler EN 1149-3-2006 Standardı'nda tanımlanan elektrostatik yük yarılanma zamanı ve elektromanyetik kalkanlama faktörüdür. Direnç ölçer ile ölçülen yüzey direnci R_s değeri kullanılarak yüzey özdirenç değeri (ρ) ; $\rho = k * R_s$ formülü ile hesaplanır. Formüldeki k direnç ölçümü sırasında kullanılan elektrodun geometrik faktörüdür.

Tablo 1.10 Çalışmada kullanılan kumaşların sınıflandırılması (Varnaite ve Katunskis 2009,a)

	Poliester ve iletken ipliklerle dokunan kumaşlar	**Poliester/Pamuk ve iletken ipliklerle dokunan kumaşlar**
İki iletken atkı ipliği arasında yer alan iletken olmayan atkı ipliği sayısı	71	55
	62	45
	49	33
	25	22
	13	12

Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde; iletken iplik içeren tüm kumaşların dikey ve yüzey dirençleri aşınma tur sayısı artıkça artış göstermiştir. İki iletken iplik arasındaki iletken olmayan iplik sayısının artmasıyla beklendiği gibi direnç değerleri artmıştır. Poliester/INOX iletken iplik içeren kumaşların dikey dirençlerinin gümüş kaplanmış poliester iletken iplik içeren kumaşlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Aşınma sonrası kesikli liflerin kumaş yüzeyinde daha fazla tüylenme oluşturması nedeniyle poliester/pamuk iplik içeren kumaşların elektrostatik özelliklerinin diğer kumaşlara göre daha kötü olduğu görülmüştür. Elektromanyetik kalkanlama faktörü, aşınma tur sayısı artıkça azalmıştır.

Poliester/INOX iletken iplik içeren kumaşların elektromanyetik kalkanlama faktörlerinin, yüzey tüylenmesi sebebiyle gümüşle kaplanmış poliester iletken iplik içeren kumaşlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Elektrostatik yük yarılanma zamanı, aşınma tur sayısı artıkça artış göstermiştir. Ayrıca yüzey tüylenme derecesinin elektrostatik yük yarılanma zamanını olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Kumaşların içerdiği iletken iplik miktarı artıkça statik elektriklenme miktarının azaldığı ve iletken iplik içeren dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama ve elektrostatik özelliklerinin kumaşlar üzerinde meydana gelen aşınma miktarından olumsuz etkilendiği ortaya konulmuştur.

Varnaite ve Katunskis (2009,b) yaptıkları diğer bir çalışmada iletken iplik içeren kumaşların elektrostatik özelliklerine ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerine yıkamanın etkisini araştırmışlardır. Çalışmada incelenen iletken iplik içeren 1/1 rib örme ve bezayağı dokuma kumaşlar Tablo 1.11 ve Tablo 1.12' de görülmektedir. Kumaşlar iki iletken iplik arasında kalan iletken olmayan iplik sayısına göre sınıflandırılmışlardır.

Tablo 1.11 Çalışmada kullanılan örme kumaşların sınıflandırması (Varnaite ve Katunskis 2009,b)

	İletken iplik türü	
	Poliester/INOX	Gümüş kaplamalı poliester
İki iletken iplik sırası arasında yer alan Poliester/pamuk ipliği sıra sayısı	14	7
	19	15
	29	31
	59	

Tablo 1.12 Çalışmada kullanılan dokuma kumaşların sınıflandırması (Varnaite ve Katunskis 2009,b)

	İletken iplik türü	
	Poliester/INOX	Gümüş kaplamalı poliester
İki iletken atkı ipliği arasında yer alan iletken olmayan atkı ipliği sayısı	12	12
	22	22
	33	33
	45	45
	55	55

Çalışmanın deneysel bölümünde kumaşların yıkama öncesi ve sonrası dikey dirençleri, yüzey dirençleri, elektromanyetik kalkanlama faktörleri ve elektrostatik yük yarılanma zamanları belirlenmiştir. Dikey direnç kumaş iki elektrot arasına yerleştirilerek ölçülürken, yüzey direnç ise kumaş üzerinde elektrotların iki farklı

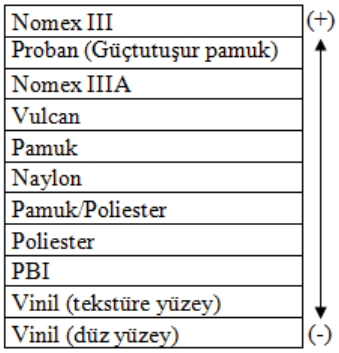
noktaya yerleştirilmesi ile ölçülmektedir. Bu parametrelerin ölçümünde kullanılan yöntemler araştırmacıların iletken iplik içeren kumaşlarda aşınmanın etkisini araştırdıkları çalışmalarında kullandıkları yöntemlerdir. Deneyler 23 ±1 °C sıcaklık ve % 25 ±5 bağıl nemde yapılmıştır. Ayrıca nemin elektrostatik yük yarılanma zamanına etkisini incelmek için elektrostatik yük yarılanma zamanı %25, %40 ve %50 olmak üzere üç faklı bağıl nemde ölçülmüştür. Yıkama ve kurutma işlemleri EN ISO 6330:2002 Standardı'na göre yapılmıştır. Kumaşlar fosfat içermeyen, optik beyazlatıcısız referans ECE deterjanı ile 40 °C'de 5 yıkama döngüsüne maruz bırakılmışlar ve asılarak kurutulmuşlardır. Kumaşların yıkama sonrası boyut değişimleri EN ISO 5077:2008 Standardı'na göre belirlenmiştir. Buna göre; poliester/INOX iletken iplik içeren örme kumaşlarda çubuk yönünde %2, sıra yönünde %0.5, gümüş kaplamalı poliester iletken ipliği içeren örme kumaşlarda çubuk yönünde %3.5, sıra yönünde %0.5 çekme görülmüştür. Dokuma kumaşlarda ise boyut değişimi atkı ve çözgü yönünde %0.5 olarak belirlenmiştir.

Avrupa Standardı EN 1149-5:2008 elektrostatik koruyucu materyallerin beş yıkama döngüsü sonrasında karşılaması gereken değerleri; 'elektrostatik yük yarılanma zamanı dört saniyeden düşük ve elektromanyetik kalkanlama faktörünün 0.2'den büyük olmalıdır' şeklinde tanımlamaktadır. Çalışma kapsamında üretilen örme ve dokuma kumaşlarla yapılan deneyler sonucunda bu kumaşların standardın belirlediği sınırları karşıladığı belirlenmiştir. Böylece bu kumaşların kazalara sebep olabilecek elektrostatik deşarjları önlemeye yönelik koruyucu kıyafetlerin üretiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Kumaşların elektrostatik özelliklerinin, yapılarında yer alan iletken iplik miktarına göre anlamlı olarak değiştiği istatistiksel olarak da belirlenmiştir. Yapısında gümüş kaplamalı poliester iletken ipliği içeren kumaşların daha iyi elektrostatik özellikler gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bütün kumaşlarda beş yıkama sonrasında direnç değerleri artış göstermiştir ancak gümüş kaplamalı poliester iletken iplik içeren kumaşlarda direnç değerlerinin artışı poliester/INOX iletken iplik içeren kumaşlara göre da az gerçekleşmiştir. Bu farkın poliester/INOX iletken ipliklerde paslanmaz çelik lifler kesikli olarak bulunduğundan yıkama sırasında bu iletken liflerin kumaş yapısından daha kolay ayrılarak kumaşın iletkenlik özelliğinin azalması nedeniyle oluştuğu açıklanmıştır. Aynı yaklaşımla yıkama sırasında çamaşır makinası içinde fiziksel etkilere maruz

kalan kumaşın yapısında yer alan metal liflerin kayba uğraması sebebiyle yıkama sonrasında kumaşların direnç değerlerinin artış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ortamın nem miktarının artması kumaşların elektrostatik yük yarılanma zamanına olumlu etki göstermiştir. İletken iplikler arasındaki mesafenin fazla olduğu kumaşlarda nem miktarının fazla olduğu durumlarda da elektromanyetik kalkanlama faktörü düşük elde edilmiştir. Örme kumaşların, dokuma kumaşlara göre yıkama sonrasında daha çok çekmesine rağmen, daha iyi elektrostatik özellik gösterdiği ortaya konulmuştur.

Osei-Ntiri (1992), petrokimya ve yakıt endüstrisinde iş kıyafeti olarak kullanılan koruyucu giysilerin kullanımı sırasında insan vücudu üzerinde meydana gelen elektrostatik deşarj gerilimini düşük nemde belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmanın ilk aşamasında koruyucu kıyafet üretiminde kullanılan bazı kumaşların triboelektrik dizini oluşturulmuştur. İkinci aşamasında koruyucu kıyafetleri giyen kişilerin hareket etmeleri sonucu insan vücudu üzerinde meydana gelen elektrostatik deşarj gerilimini ölçebilmek için iki farklı deney prosedürü geliştirilmiştir. Oluşturulan bu prosedürlerle beden ölçüleri birbirine yakın üç gönüllü deneğin katkı sağladığı deneyler %0 bağıl nemde 22°C'de yapılmıştır. Deneylerin prensibi deneklerin hareketleri sırasında meydana gelen elektrostatik yükten kaynaklanan deşarj gerilimin ölçülmesine dayanır. Deneyler sırasında deneklerin hepsi standart olarak pamuklu iç çamaşırı, pamuklu t-shirt, bir parmağı dışarıda bırakan latex eldiven ve lastik tabanlı Convers All-Star marka ayakkabı giymişlerdir. Bu standart giysiler üzerine giyilen farklı materyallerdeki gömlek, pantolon, tulum ve parkadan oluşan giysi sistemleri test edilmiştir. Deneylerin yapılacağı kuru ortamı sağlamak için 411 cm*323.3cm*381.2cm ölçülerinde zeminden izole edilmiş tahta iskelenin plastik ile kaplanmasıyla deneylere özel bir bölme yapılmıştır. Deney prosedürü-1; "test edilecek olan giysi sistemini giyen denek 147 cm genişliğindeki vinil kaplı kamyon koltuğunun yarısına oturur, daha sonra kayarak koltuğun tamamına yerleşir ve ardından kalkıp ayakları tam yere basarak iki adım yürür ve iki saniye içinde parmağı ile vücudunu küresel elektroda deşarj eder" şeklinde tanımlanmıştır. Deney prosedürü-2 ise;"test edilecek olan giysi sistemini giyen denek 28 metre yürür ve deney sırasında giydiği parkayı çıkararak kendisini küresel elektroda deşarj eder" şeklinde tanımlanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen parametreler elektrostatik

deşarj gerilimi, aktarılan yük miktarı ve elektrostatik deşarj enerjisidir. Prosedürler test edilen her giysi sistemi için 10 kez tekrarlanır ve tekrarlar arasında beş dakika ara verilir. Her teste başlamadan önce giysiler ve denek üzerindeki mevcut elektrostatik yük nötrlenir.



Şekil 1.27 Çalışmada elde edilen triboelektrik dizin (Osei-Ntiri 1992)

Tablo 1.13 Deney prosedürü-1'e göre test edilen giysi sistemleri (Osei-Ntiri 1992)

Giysi Sistemi	**Tulum**	**Gömlek**	**Pantolon**
1	Nomex III	Pamuk	Pamuk
2A	No-Mo Stat	Pamuk	Pamuk
2B	Nomex IIIA	Pamuk	Pamuk
3	Güç tutuşur pamuk	Pamuk	Pamuk
4	Nomex III	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
5A	No-Mo Stat	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
5B	Nomex IIIA	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
6	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
7	Nomex III	Nomex III	Güç tutuşur pamuk
8A	No-Mo Stat	Nomex III	Güç tutuşur pamuk
8B	Nomex IIIA	Nomex III	Güç tutuşur pamuk
9	Güç tutuşur pamuk	Nomex III	Güç tutuşur pamuk

Deney prosedürü-1'e göre yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde üç denek ile de en düşük deşarj enerjisi giysi sistemi-8B ile elde edilmiştir. Giysi sistemi- 6'nın kullanıldığı deneylerden elde edilen deşarj enerjisi iki denek için en yüksek, diğer denek için ise ikinci en yüksek deşarj enerjisidir. Yapısında Nomex IIIA(%93 nomex aramid/%5 kevlar/%2naylon kaplı karbon çekirdek lifi) ve No-mo-stat(%99 aramid/%1 paslanmaz çelik lifi) antistatik liflerini içeren kumaşlardan üretilmiş giysilerin elektrostatik deşarj enerjisi düşük elde edilmiştir. Gömlek ve tulumların aynı materyallerden oluştuğu 6. ve 7. Giysi

sistemleri ile yapılan testlerde en yüksek deşarj enerjileri elde edilmiştir. Deney prosedürü-1 uygulandığında tüm giysi sistemlerinde deneklerin vücutları pozitif statik elektrik yükü ile yüklenmiştir. Deneylere katılan üç denekten ikisinin ağırlık/boy oranları birbirine çok yakındır. Üçüncü deneğin ağırlık/boy oranı ise diğer ikisinden %14 daha azdır. Deneklerin deşarj enerjilerinin ayrı ayrı ortalamalarına bakıldığında üçüncü deneğin diğer ikisine göre deşarj enerjisinin %30 daha az olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. 14 Ortalama deşarj enerjileri ve ağırlık/boy oranı (Osei-Ntiri 1992)

Denek	**Ortalama Deşarj Enerjisi (milijoule)**	**Ağırlık/Boy Oranı**
1. K	63,04	47,19
2. J	63,09	47,24
3. R	40,14	40,47

Tablo 1.15 Deney prosedürü-2'ye göre test edilen giysi sistemleri (Osei-Ntiri 1992)

Giysi Sistemi	**Parka**	**Gömlek**	**Pantolon**
A	Nomex IIIA	Pamuk	Pamuk
B	Nomex IIIA	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
C	Nomex IIIA	Nomex III	Güç tutuşur pamuk
D	Nomex III	Pamuk	Pamuk
E	Nomex III	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
F	Nomex III	Nomex IIIA	Pamuk
G	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur Pamuk
H	Güç tutuşur pamuk	Nomex IIIA	Pamuk

Dış giysi olarak parkanın kullanıldığı deney prosedürü-2 ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre giysi sistemi C(Nomex IIIA parka/pamuk gömlek/pamuk pantolon) ile en düşük deşarj enerjisi elde edilmiştir. En yüksek deşarj enerjisi ise giysi sistemi D'de elde edilmiştir. K ve J deneklerinden elde edilen deşarj enerjileri değerlendirildiğinde giysi sistemlerinin deşarj enerjilerinin en azdan en fazla olana doğru sıralaması C<A<B<F<H<G<E<D şeklindedir. Giysi çıkarma zamanının deşarj enerjisi üzerindeki etkisi incelendiğinde dış giysiyi yavaş çıkarmanın vücut üzerinde daha az elektrostatik gerilim oluşturduğu sonucu elde edilmiştir. Deney prosedürü-1 ve deney prosedürü-2'den elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında deney prosedürü-1'de koltuk ile sürtünme sonucunda daha fazla elektrostatik gerilim oluştuğu belirlenmiştir. Beklendiği gibi her iki deney prosedüründe de antistatik lif içeren

giysilerin elektrostatik yük oluşturma etkisi daha düşüktür. Sadece F ve H giysi sistemlerinde deneklerin vücudunda negatif elektrostatik yük oluşmuştur.

Anderson ve arkadaşları (2008) bir kişinin otomobil koltuğundan kalkarken statik elektrikle yüklenmesini araştırmışlardır. Çalışmanın amaçları bir kişinin otomobil koltuğundan kalkarken beklendiği gibi statik elektrikle yüklendiğini ortaya koymak, kişinin üzerindeki giysilerden elektrostatik deşarjın kayıt edilmesi ve statik elektriklenmeyi kontrol etmek için kullanılan tekstil teknolojilerinin otomobil koltuklarının kılıflarında kullanıldığında sürtünme ile elektriklenmeyi azaltıp azaltmadığını belirlemektir.

Deneyler İsveç Ulusal Test ve Araştırma Enstitüsü, The British Textile Group(BTTG)'un Leeds'deki laboratuvarı ve Renault'un Teknoloji Merkezi olmak üzere üç farklı yerde yapılmıştır. İsveç'de laboratuvar 23°C sıcaklığa ve %12 bağıl neme, BTTG'de 23°C sıcaklığa ve %26 bağıl neme koşullandırılmıştır. Renault'taki Teknoloji Merkezinde ise ortam koşulları tam olarak kontrol altında değildir, ancak aynı gün için ölçülen bağıl nem değerleri %33 ile %37 arasındadır. Deneylerdeki ölçüm prensibi, deneğin otomobil koltuğuna oturup kalkması sırasında eş zamanlı olarak vücut geriliminin elektrostatik voltmetre ile kayıt altına alınmasına dayanmaktadır. Renault Teknoloji Merkezi'nde deneyler otomobil üzerinde yapılmış ve ayrıca deneylerde kullanılan döşemelikler burada üretilen, bir kişinin araçtan çıkarkenki hareketine benzer bir hareketi temsil eden sürtünme ile elektriklenme düzeneğinde de test edilerek, bu düzenekten elde edilen sonuçlar deneğin vücut gerilimleri ile otomobil ile gerçekleştirilen deneydeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Denekler deney sırasında poliester/pamuk, %100 pamuk önlük ya da %100 pamuk kot pantolon ve ceket giymişlerdir. Ayakkabı olarak da kişi ile zemin arasında yüksek direnç sağlayan yalıtkan ayakkabılar giymişlerdir. Deneylerde %100 poliesterden üretilmiş, iletken iplik içeren üç farklı poliesterden üretilmiş kumaşlar ve deriden üretilmiş otomobil döşemelikler test edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre düşük nemli ortamda vücut üzerinde oluşan elektrostatik gerilimin artış gösterdiği belirlenmiştir. Vücut üzerinde oluşan elektrostatik yükün meydana getirdiği elektrostatik enerjinin sıradan hidrokarbon yakıtların 0,2 ve 0,6 milijolue arasında değişen minimum tutuşma enerjilerinden

fazla olduğu ortaya konulmuştur. İletken iplik içeren poliesterden üretilmiş döşemeliklerin sürtünme ile elektriklenmesi sıradan poliester döşemeliklere göre daha düşük gerçekleşmiştir. Testlerin farklı ortamlarda ve farklı bağıl nem düzeylerinde yapılmasından dolayı kesin karşılaştırmalar yapmanın zor olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışmada ölçümler arasındaki farklılıkları etkileyen değişkenler; araç koltuklarının geometrisi, deneye katılan kişinin vücut ölçüleri ve ağırlığı, test edilen materyallerin temizliği ve ölçümlerde aynı amaçla kullanılan aletlerin farklılıkları olarak tanımlanmıştır. Renault Teknoloji Merkezi'nde kullanılan sürtünme ile elektriklenme ölçüm düzeneğinden elde edilen sonuçlara göre, bu düzeneğin elektrostatik performans açısından otomobil döşemeliklerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Holstock ve Wilson (1996)'un yaptıkları çalışmada standart bir hastane yatağında nevresim takımı değiştirilirken oluşan statik elektriklenmenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Test prosedürü oluşturulurken nevresimi değiştirme sırasındaki normal davranışlar en kötü senaryoları ortaya koyabilmek için abartılmıştır. İki faklı nevresim değiştirme prosedürü tanımlanmıştır. Birinci prosedürde (sıyırma yöntemi) çarşaf yataktan ve nevresim battaniyeden sıyrılarak çıkartılmaktadır. İkinci prosedürde (katlama yöntemi) ise çıkarma işlemi iki kişi tarafından katlanarak yapılmaktadır.

Nevresimler test edilmeden önce BS 5661-1978 Standardı'na göre yıkanmıştır. Dört durulama çevrimi uygulanmış, peşinden sıkılmış ve kurutma makinasında kurutulmuşlardır. Nevresimlerin bir kısmı yıkama prosedürüne ek olarak yumuşatıcı ile de muamele edilmişlerdir.

Yatak çerçevesinin ayakları ve operatörlerin hareket ettikleri alan plexiglass ile zeminden izole edilmiştir. Operatörler zeminden izole bir şekilde nevresimleri değiştirirken yatağın metal olan çerçevesine bağlı olan bir elektrostatik voltmetre ile gerilim ölçülmüştür. Operatörün vücudunda meydana gelen elektrostatik gerilim ise, operatörün bacağının alt kısmına sarılmış alüminyum folyoya tutturulmuş elektrostatik voltmetreye bağlı elektrot yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm prosedürü iki kez tekrar edilmiştir. Testler 23 °C sıcaklık ve %33 bağıl nemde yapılmıştır. Nevresim, yatak ve yatak koruyucusu ölçümlerden önce en az 16 saat test

koşullarında bekletilmişlerdir. Test öncesi nevresim ve yatak üzerindeki mevcut yükü nötrlemek için polonyum 210 radyoaktif eliminatör kullanılmıştır.

Yatağın çerçevesi zeminden plexiglass ile izole edildiğinde kapasitansı 185 pikofarad, aynı şekilde zeminden izole operatörün kapasitansı ise 374 pikofarad olarak ölçülmüştür. Çalışma kapsamında operatörün ve yatağın çerçevesinde meydana gelen elektrostatik gerilim nedeniyle meydana gelebilecek deşarj enerjisinin hastanede kullanılabilecek yanıcı gazların minimum tutuşma enerjisinden fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. Test edilen üç farklı battaniye, yatak örtüsü, çarşaf ve nevresim kombinasyonunun hammaddeleri Tablo 1.16'daki gibidir.

Tablo 1.16 Battaniye, yatak örtüsü, çarşaf ve nevresimlerin hammaddeleri (Holstock ve Wilson 1996)

	Battaniye	**Yatak örtüsü**	**Çarşaf ve nevresim**
A	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk	Pamuk
B	Güç tutuşur poliester	Güç tutuşur poliester	Güç tutuşur poliester
C	Modakrilik	Modakrilik	Poliester

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre sıyırma yöntemi kullanıldığında operatörün vücudunda oluşan elektrostatik gerilim, katlama yöntemi kullanıldığında oluşan elektrostatik gerilimden fazladır. Sıyırma yöntemi kullanıldığında yatak çerçevesinde meydana gelen en düşük elektrostatik gerilimler B kombinasyonunda elde edilmiştir. Katlama yöntemi kullanıldığında da en düşük elektrostatik gerilimler B kombinasyonunda elde edilmiştir. En yüksek elektrostatik gerilim ise sıyırma yöntemi ile C kombinasyonunda elde edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde; hastanelerde kullanılan yatağın yerleştirildiği çerçevelerin topraklanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Yumuşatıcı uygulanan battaniye, nevresim ve çarşafların değiştirilmesi sırasında operatörün vücudunda oluşan elektrostatik gerilim yumuşatıcı uygulanmayan kombinasyonlara göre daha düşüktür. Ancak yumuşatıcı ile muamele edilen güç tutuşur poliester battaniye üzerinden güç tutuşur poliester nevresim çıkarılırken diğer yumuşatma işlemi uygulanan kombinasyonların tersine açıklanamayacak bir biçimde operatörün vücudu üzerinde oluşan elektrostatik gerilim artış göstermiştir.

Gonzalez ve arkadaşları (1997) yaptıkları çalışmada ASTM F23.20.05 standardında önerilen sürtünme ile elektriklenme test yöntemi üzerinde bazı

eklemeler yaparak üzerinde giysileri bulunan bir kişinin yalıtkan bir yüzeye sürtünmesiyle kişinin vücudunda meydana gelen elektrostatik yüklenme sonucunda iletken bir yüzeye dokunduğunda meydana gelen deşarjı simule etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen sistemde sürtünme ile elektriklendirilmiş kumaşın 200 pikofaradlık bir kapasitöre deşarj olmasıyla elektrostatik gerilim ve deşarj enerjisi ölçülmektedir. Deneyler hem ASTM yöntemine göre hem de geliştirilen yönteme göre oda sıcaklığında %0 ve %20 bağıl nemde yapılmıştır. Aramid/PBI, aramid/karbon, aramid/güç tutuşur viskoz, pamuk ve güç tutuşur pamuk kumaşların kombinasyonlarından oluşan tek ve iki katmanlı termal koruyucu kumaş sistemleri test edilmiştir. Geliştirilen sistem ile elde edilen veriler ve daha önceden aynı kumaş sistemleri ile insanlarla yapılan deneylerden elde edilen elektrostatik gerilim değerleri istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.17 Test edilen kumaş sistemleri (Gonzalez ve arkadaşları 1997)

	Dış Katman	**İç Katman**
1	Güç tutuşur pamuk	Pamuk
2	Aramid/karbon	Pamuk
3	Aramid/PBI	Pamuk
4	Aramid/güç tutuşur viskoz	Pamuk
5	Güç tutuşur pamuk	Güç tutuşur pamuk
6	Aramid/karbon	Aramid/karbon
7	Aramid/PBI	Aramid/karbon
8	Aramid/güç tutuşur viskoz	Aramid/karbon

Termal koruyucu kıyafetlerin kullanım sırasındaki statik elektriklenme eğilimlerini tahminleyebilmek için çalışmada geliştirilen sistem ile ölçülen elektrostatik gerilim değerleri ve yük boşalma oranları ile insanlarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla arasındaki ilişki korelasyon katsayıları hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre antistatik kumaşlar, antistatik olmayan kumaşlara göre daha düşük elektrostatik gerilim ve deşarj enerjisi göstermişlerdir. %0 ve %20 bağıl nemde kumaş sistemleri gerilim ve enerjilerine göre sıralandıklarında birkaç istisna dışında benzer bir sıralama elde edilmiştir. Elde edilen gerilim değerlerine göre Tablo 1. 17'de verilen kumaş sistemlerinin küçükten büyüğe doğru sıralaması %0 bağıl nemde 3<7<2<6<8<4<1<5, %20 bağıl nemde ise 7<3<6<2<8<4<5<1 şeklindedir. ASTM F23.20.05 standardındaki yöntem ile çalışmada geliştirilen

yöntem ile elde edilen veriler arasındaki korelasyon katsayıları değerlendirildiğinde gerilim değerleri ile deşarj enerjileri arasında yüksek korelasyon değerleri görülmesine rağmen, hem gerilim değerlerinin hem de deşarj enerjilerinin yük boşalma oranı ile arasında düşük korelasyon değerleri elde edilmiştir. Geliştirilen düzenekten elde edilen veriler ile insanlarla yapılan deneylerden elde edilen deşarj gerilimleri arasındaki korelasyon deşarj enerjileri arasındaki korelasyondan daha yüksek elde edilmiştir. İnsan vücudu deşarj gerilimleri ile ölçüm yöntemleri ile elde edilen veriler arasında doğrusal ilişkinin var olduğu ortaya konulmuştur. Regresyon analizi sonucu elde edilen regresyon denklemi:

%0 bağıl nemde; $Y_{HB} = 0.036X_1 - 0045X_2 - 0.028X_3 - 0.066X_4$ olarak,

%20 bağıl nemde; $Y_{HB} = 0.077X_1 - 0.219X_2 - 0.045X_3 - 0.047X_4$

olarak elde edilmiştir. Denklemlerde Y_{HB}; tahminlenen insan vücudu gerilimini(kilovolt), X_1; geliştirilen yöntemden elde edilen gerilimi(volt), X_2; geliştirilen yöntemden elde edilen deşarj enerjisini, X_3; ASTM F23.20.05 standardındaki yöntem ile elde edilen gerilimi(kilovolt), X_4; ASTM F23.20.05 standardındaki yöntem ile elde edilen yük boşalma oranını(%) ifade etmektedir.

BÖLÜM İKİ
MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Çalışma kapsamında örgü tipi ve sıklık özellikleri açısından farklılık gösteren ve kontrollü olarak üretilen poliester ve pamuk deneme kumaşları ile bazı astarlık ve giysilik ticari dokuma kumaşlar sürtünme ile statik elektriklenme özellikleri açısından incelenmiştir. İncelenen kumaşların yapısal özellikleri Tablo 2.1-2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.1 A grubu poliester kumaşların yapısal özellikleri

Kumaş Kodu	Örgü	Çözgü İpliği Numarası (Nm)	Atkı İpliği Numarası (Nm)	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Metrekare Ağırlığı (g)	5 g/cm^2 Baskıda Kumaş Kalınlığı (mm)
A1	Bezayağı	100	60	60	20	104,73	0,22
A2	Bezayağı	100	60	60	23	108,13	0,22
A3	Bezayağı	100	60	60	26	117,95	0,21
A4	Bezayağı	100	30	60	14	118,00	0,24
A5	Bezayağı	100	30	60	17	131,06	0,24
A6	Bezayağı	100	30	60	20	141,86	0,25
A7	3/1 Dimi	100	60	60	30	121,88	0,25
A8	3/1 Dimi	100	60	60	33	128,86	0,24
A9	3/1 Dimi	100	60	60	36	135,76	0,25
A10	3/1 Dimi	100	30	60	24	153,73	0,30
A11	3/1 Dimi	100	30	60	27	169,48	0,31
A12	3/1 Dimi	100	30	60	30	184,75	0,33

Tablo 2.2 B grubu poliester dokuma kumaşların yapısal özellikleri

Kumaş Kodu	Örgü	Çözgü İpliği Numarası (Nm)	Atkı İpliği Numarası (Nm)	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Metrekare Ağırlığı (g)	5 g/cm^2 Baskıda Kumaş Kalınlığı (mm)
B1	Bezayağı	129	60	30	20	60,02	0,19
B2	Bezayağı	129	60	30	23	66,85	0,19
B3	Bezayağı	129	60	30	26	75,73	0,16
B4	Bezayağı	129	30	30	16	81,26	0,23
B5	Bezayağı	129	30	30	19	92,22	0,24
B6	Bezayağı	129	30	30	22	106,18	0,24
B7	3/1 Dimi	129	60	30	27	74,05	0,19
B8	3/1 Dimi	129	60	30	30	78,13	0,19
B9	3/1 Dimi	129	60	30	33	82,23	0,20

Tablo 2.2 B grubu poliester dokuma kumaşların yapısal özellikleri (devamı)

B10	3/1 Dimi	129	30	30	20	95,72	0,25
B11	3/1 Dimi	129	30	30	23	106,70	0,26
B12	3/1 Dimi	129	30	30	26	115,47	0,27

Tablo 2.3 Pamuklu dokuma kumaşların yapısal özellikleri

Kumaş Kodu	**Örgü**	**Çözgü İpliği Numarası (Nm)**	**Atkı İpliği Numarası (Nm)**	**Çözgü Sıklığı (tel/cm)**	**Atkı Sıklığı (tel/cm)**	**Metrekare Ağırlığı (g)**	**5 g/cm^2 Baskıda Kumaş Kalınlığı (mm)**
C1	Bezayağı	33	33	36	14	148,00	0,37
C2	Bezayağı	33	33	36	18	163,00	0,37
C3	Bezayağı	33	33	36	22	175,00	0,36
C4	2/1 Dimi	33	33	36	18	158,00	0,38
C5	2/1 Dimi	33	33	36	22	171,00	0,38
C6	2/1 Dimi	33	33	36	26	186,00	0,40
C7	3/1 Dimi	33	33	36	18	161,00	0,40
C8	3/1 Dimi	33	33	36	22	186,00	0,41
C9	3/1 Dimi	33	33	36	26	190,00	0,41

Tablo 2.4 Deneysel çalışma kapsamında incelenen ticari kumaşların yapısal özellikleri

Kumaş Kodu	**Hammadde**	**Örgü**	**Çözgü İpliği No (Nm)**	**Atkı İpliği No (Nm)**	**Çözgü Sıklığı (tel/cm)**	**Atkı Sıklığı (tel/cm)**	**Metrekare Ağırlığı (g)**	**5 g/cm^2 Baskıda Kumaş Kalınlığı (mm)**
D1	Poliester	Fantazi Dimi*	156	63	114	48	169,50	0,45
D2	Pamuk	Bezayağı	33	33	36	18	163,00	0,45
D3	Keten	Bezayağı	28	31	12	10	167,90	0,44
D4	İpek	Fantazi Dimi*	570/2	83	44	32	129,34	0,30
D5	Yün	Bezayağı	84/2	62	16	16	138,57	0,25
D6	%45Yün, %55İpek	Bezayağı	80/2	122/2	27	32	125,89	0,23
D7	%50Yün, %50Keten	2/2 Dimi	39	40	31	27	161,76	0,36
D8	%55Yün, %45Pamuk	Bezayağı	166/2	50	46	29	124,08	0,27
D9	%68Pamuk, %32Viskon	Bezayağı	136/2	104	53	39	125,49	0,21
D10	%67Pamuk, %33Rami	Bezayağı	112	37	95	33	190,51	0,38

Tablo 2.4 Deneysel çalışma kapsamında incelenen ticari kumaşların yapısal özellikleri (devamı)

D11	%70Pamuk, %30İpek	Bezayağı	184/2	152	105	36	105,22	0,24
D12	Viskon	Fantezi Dimi*	132	50	48	29	106,88	0,20
D13	Bakır İpeği	Bezayağı türevi*	112	102	51	29	78,85	0,14
D14	Asetat	Bezayağı	172	112	45	32	54,83	0,09
D15	%49Asetat, %51Viskon	Bezayağı	122	74	46	28	82,46	0,12
D16	%46Asetat, %54Bakır İpeği	Fantazi Dimi*	121	82	40	32	82,67	0,12
D17	%55Asetat, %45Bakır İpeği	Bezayağı türevi*	116	113	54	41	75,97	0,13
D18	Poliester	Bezayağı	129	60	30	26	75,73	0,16

*Örgü raporları EK 2'de verilmiştir.

2.2 Metot

Çalışmanın deneysel kısmında, öncelikle kullanılan dokuma kumaşların yapısal özellikleri ilgili standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Kumaşların statik elektriklenme özellikleri ise sürtünme ile statik elektriklenmiş örnekler üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın tamamı standart atmosfer koşullarında (20 C° sıcaklık ve %65 bağıl nem) gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Kumaşların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Kumaşların metrekare ağırlığı, kumaş kalınlığı, atkı ve çözgü iplik numarası, atkı ve çözgü sıklıkları ilgili standartlara uygun olarak belirlenmiştir.

Kumaş kalınlığı, ASTM D 1777'ye göre James Heal R&B Kumaş Kalınlık Ölçeri ile 5 g/cm^2' lik basınç altında belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm dokuma kumaşlardan 7×7 cm 'lik dörder tane, farklı atkı ve çözgü iplikleri içerecek şekilde, örnek hazırlanarak kalınlık değerleri ölçülmüştür.

Metrekare ağırlıkları TS 251'e göre her kumaştan, farklı yerlerden (farklı atkı ve çözgü iplikleri içerecek şekilde), 10×10 cm boyutlarında beşer adet örnek alınarak belirlenmiştir.

Kumaşları atkı ve çözgü sıklıkları TS 250 EN 1049-2'ye göre bir santimetrede yer alan atkı ve çözgü iplikleri sayısı lup yardımıyla beşer kez sayılarak belirlenmiştir.

Atkı ve çözgü iplik numaraları TS 255'e göre ölçülmüştür. Bu amaçla kumaşlardan atkı ve çözgü yönünde 20 cm uzunluğunda ellişer iplik çıkarılarak hassas terazide tartılmıştır. Kumaştan çıkarılan iplikler içinde yer alan onar tane atkı ve çözgü ipliğinin kıvrımsız uzunluğu belirlenip kıvrım oranı hesaplanmıştır. Kıvrım oranı kullanılarak atkı ve çözgü ipliklerinin toplam kıvrımsız uzunluğu belirlendikten sonra uzunluk numaralandırma sistemine göre iplik numaraları hesaplanmıştır.

Kumaş yapısal özelliklerinin yanı sıra sadece D grubunda yer alan astarlık kumaşlar için aşınma dayanımı testi yapılmıştır.

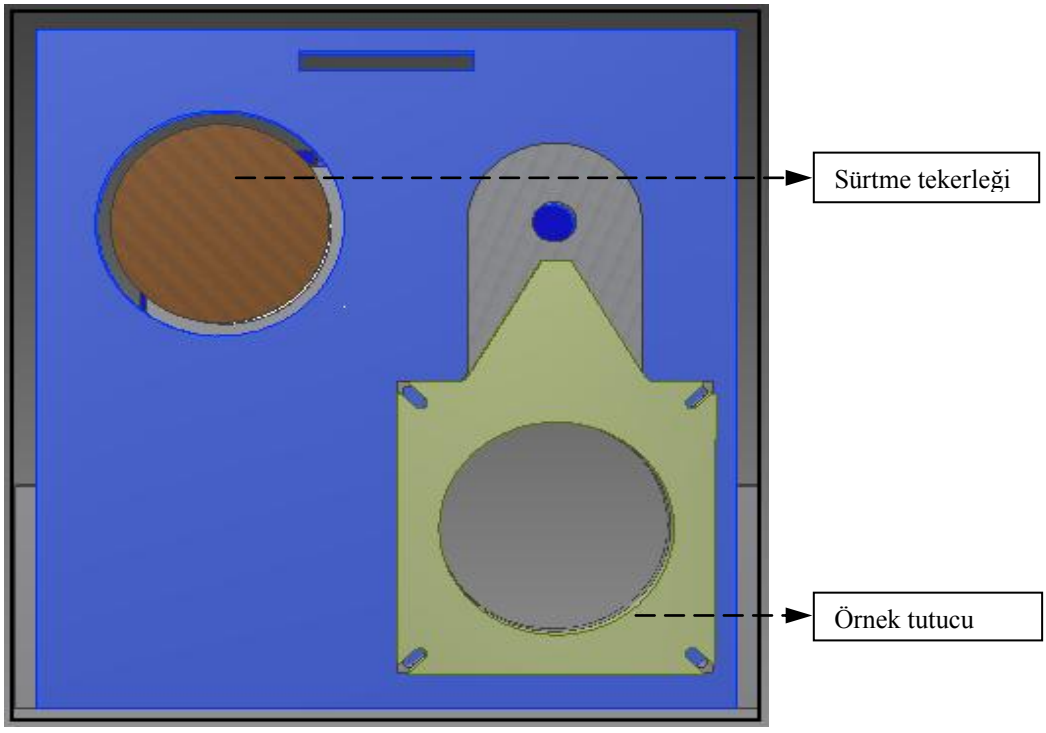
Astarlık kumaşların aşınma dayanımları TSE EN ISO 12947-2 Martindale Metoduyla Kumaşların Aşınmaya Karşı Dayanımının Tayini- Bölüm 2: Numune Kopmasının Tayini test standardına göre yapılmıştır. Dairesel numune alma aparatı kullanılarak her bir deney kumaşından 38 mm çapında üç adet hazırlanan numuneler, Nu-Martindale Aşınma Ölçerinde 12 kPa'lık baskı altında 5000 tur aşınmaya maruz bırakılmıştır. 5000 tur sonrası her bir numune hassas terazide tartılarak ağırlık kaybı değerleri(%) hesaplanmıştır.

2.2.2 Kumaşların Sürtünme ile Statik Elektriklenme Özelliklerinin Belirlenmesi

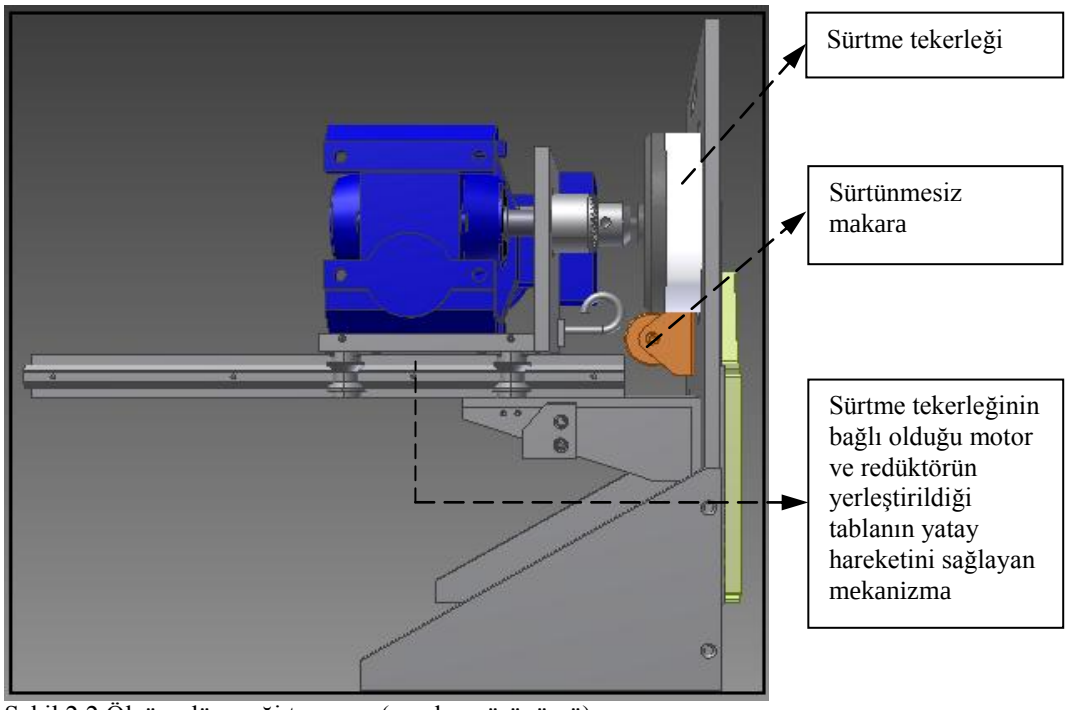
2.2.2.1 Ölçüm Düzeneği

Kumaşların sürtünme ile statik elektriklenme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bir ölçüm düzeneği yapılmıştır. Statik elektriklenme ölçüm düzeneğinin sürtünme ile elektriklenme oluşturan kısmı; Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi Kennedy Uzay Merkezi Uzay Üssü Mühendislik ve Teknoloji Laboratuvar Bölümü tarafından 15 Kasım 2002 tarihinde yayımlanan MMA-1985-79 numaralı raporda sürtünme ile elektrostatik yük oluşumu ve boşalımının değerlendirilmesi için

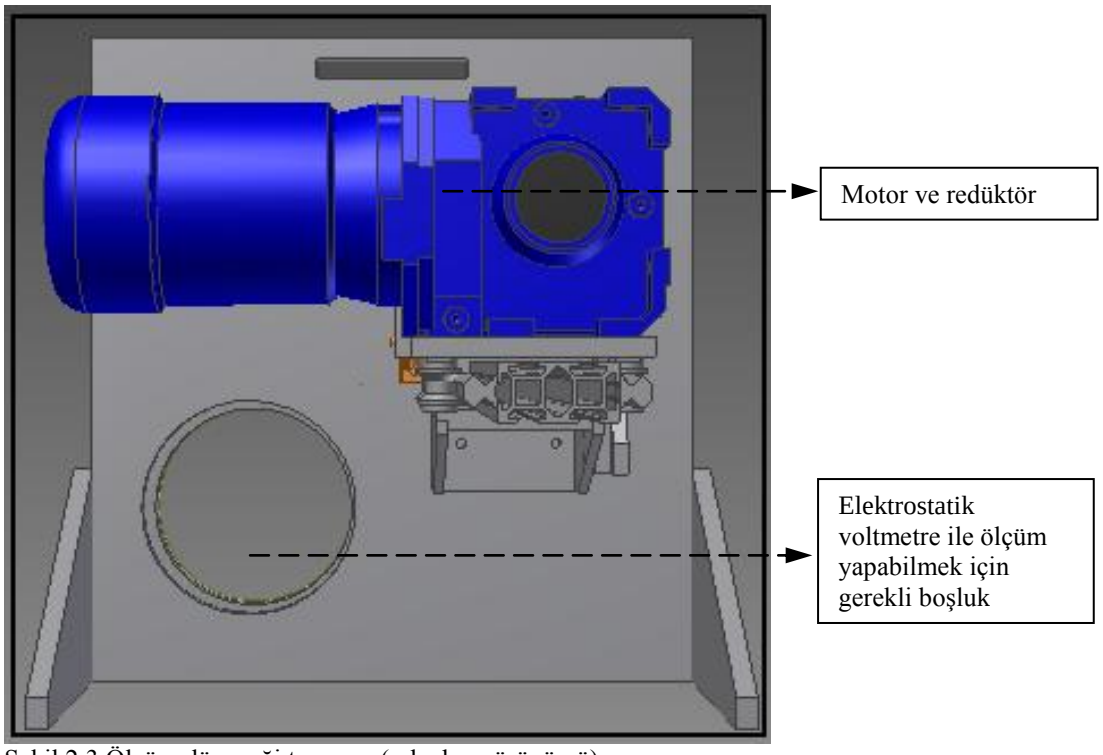
geliştirilen ölçüm düzeneğinden esinlenilerek üretilmiştir.Ölçüm düzeneği rapordaki ölçülere göre Autodesk Inventor Professional 2011 programı kullanılarak bilgisayar ortamında çizildikten sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de ölçüm düzeneğin bilgisayar programındaki görünümleri yer almaktadır. Elektrostatik gerilimin ölçülmesinde ise Wolfgang Warmbier marka 7100. EFM 51 model elektrostatik alan ölçer kullanılmıştır. Bu elektrostatik alan ölçer ile elektrostatik alan, elektrostatik gerilim ve deşarj zamanı ölçülebilmektedir. Elektrostatik alan ölçer ile ölçüm mesafesi 1 cm, 2 cm, 5 cm, 10 cm ve 20 cm olmak üzere beş farklı mesafede ayarlanabilmektedir. Giysi ile kişinin vücudu arasındaki mesafe göz önünde bulundurulduğunda en kısa ölçüm mesafesinin seçilmesi ön görülmüştür. Elektrostatik alan ölçerin kullanım talimatında 1 cm ölçüm mesafesinde maksimum 8 kilovolt gerilim değeri ölçülebileceği belirtilmiştir. Test kumaşları ile yapılan denemelerde bazı kumaşlar üzerinde 8 kilovolttan fazla gerilim meydana geldiği tespit edildiğinden ölçüm mesafesi maksimum 16 kilovolt gerilim değeri ölçülebilen 2 cm olarak tercih edilmiştir.



Şekil 2.1 Ölçüm düzeneği tasarımı (önden görünümü)



Şekil 2.2 Ölçüm düzeneği tasarımı (yandan görünümü)

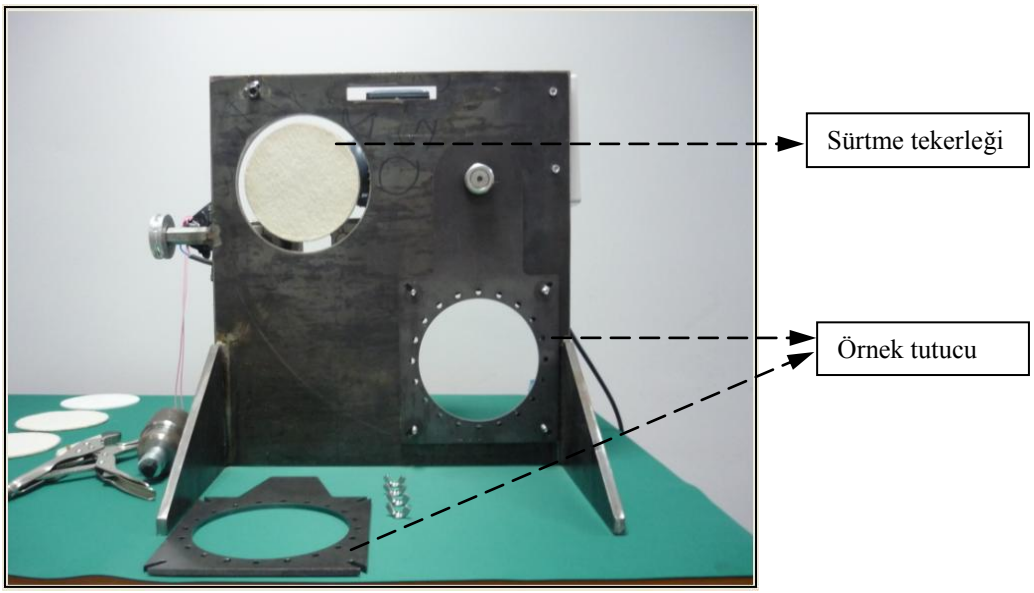


Şekil 2.3 Ölçüm düzeneği tasarımı (arkadan görünümü)

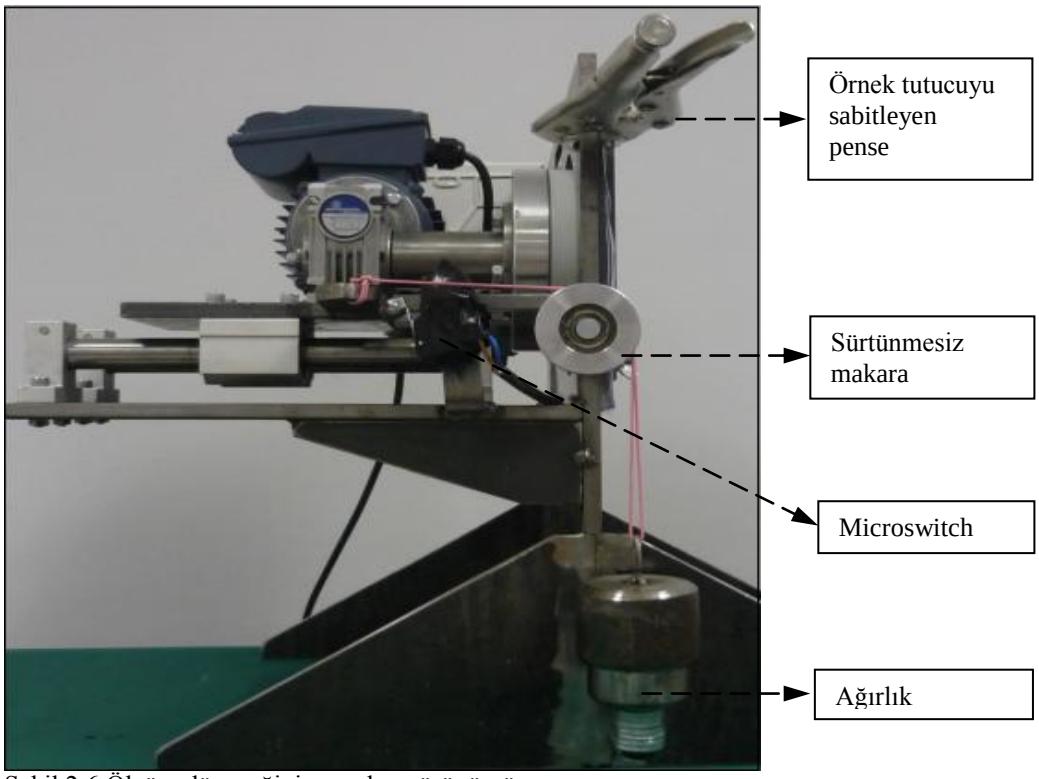
Sürtünme ile statik elektriklenme oluşturan ölçüm düzeneğinin üretimden sonraki görünümü ise Şekil 2.5- 2.7'de yer almaktadır. Ölçüm düzeneğinde sürtme tekerleği, hareketini 200 devir/dakika hızla çalışan elektrik motorundan almaktadır. Sürtme

tekerleğinin yüzeyinde sürtme materyali olarak her testte değiştirilebilen, Nu-Martindale Aşınma Ölçerinde de kullanılan standart yün keçeler kullanılmıştır. Kullanılan yün keçelerin çapı 12,5 cm'dir. Sürtme tekerleğinin yüzeyi, yün keçenin yüzeye tutunabilmesi için cırt cırt bantın sert tarafı ile kaplanmıştır. Test edilen örnek ile sürtme tekerleği arasındaki temas kuvveti 1.36 kg'lık bir ağırlığın bağlı bulunduğu sürtünmesiz makara sistemi vasıtasıyla sağlanmıştır. Örnek tutucu, sürtme tekerleğinin yer aldığı sürtme konumu ve elektrostatik voltmetrenin yer aldığı ölçüm konumu arasında hareket edebilmektir. Örnek tutucu, sürtme konumunda bir pense yardımıyla sabitlenmekte, sürtme işlemi tamamlandıktan sonra ise ölçüm konumuna getirilerek elektrostatik voltmetre ile elektrostatik gerilim ölçülmektedir. Sürtme zamanı kontrol paneli yardımı ile ayarlanabilmektedir. Sürtme tekerleğinin tam örnek yüzeyine dokunduğu anda dönme hareketine başlayabilmesi için bir microswitch kullanılmıştır.

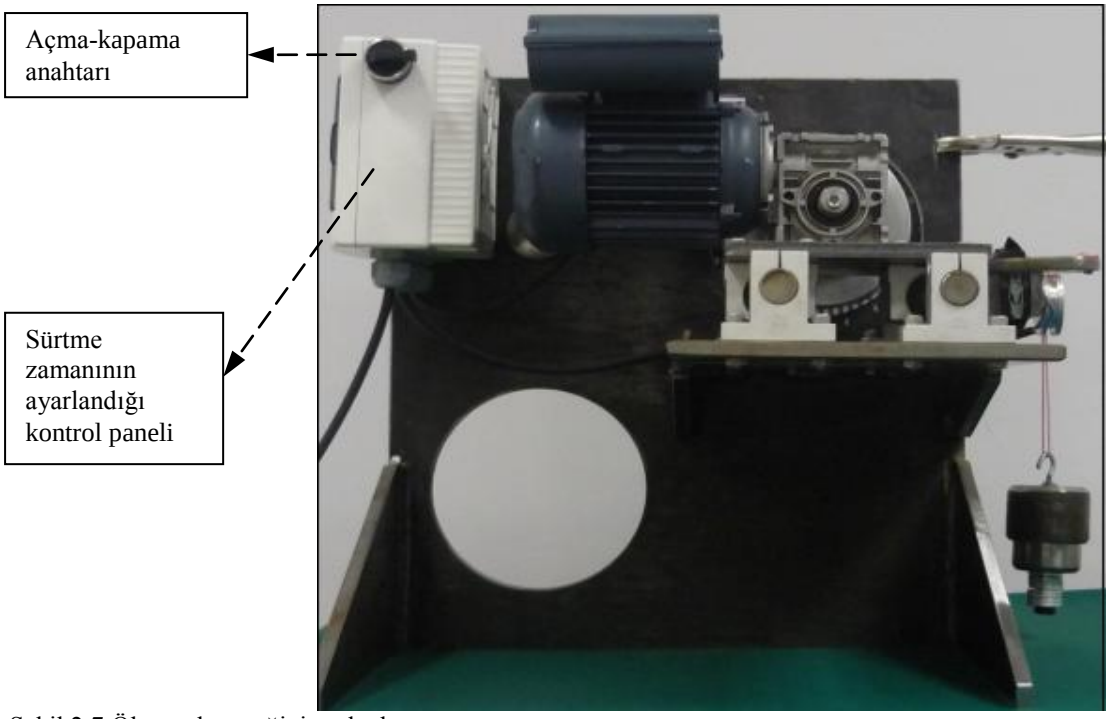
Ayrıca iki farklı kumaşın birbirine sürtünmesi sonucu meydana gelen elektrostatik gerilimin ölçülmesi sırasında sürtme tekerleği yüzeyinde yün keçenin üzerine 20cm×20cm'lik kare şeklinde hazırlanmış kumaş 10,5 cm çapında 0,5 genişliğinde paketleme lastiği kullanılarak sabitlenmiştir.



Şekil 2.5 Ölçüm düzeneğinin önden görünümü



Şekil 2.6 Ölçüm düzeneğinin yandan görünümü

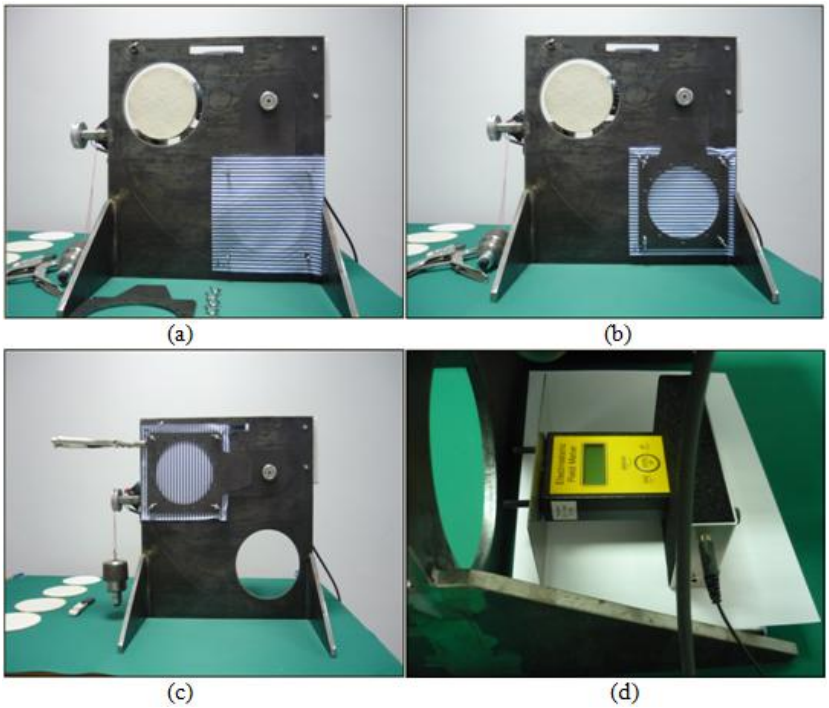


Şekil 2.7 Ölçüm düzeneğinin arkadan görünümü

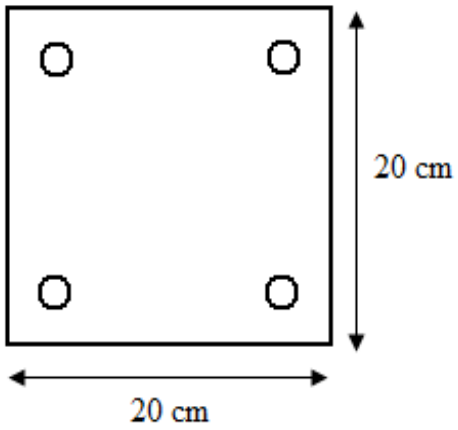
2.2.2.2 Test Prosedürü

Çalışma kapsamında test edilen tüm dokuma kumaşlar statik elektriklenme özellikleri açısından test edilmeden önce TS 5720 EN ISO 6330 Standardı'na göre ev tipi çamaşır makinasında F programında 40 C° sıcaklıkta litrede 5 gr, fosfat içermeyen ECE referans deterjan ile yıkanmışlardır. Sürtünme ile statik elektriklenme testi için materyal bölümünde belirtilen kumaşlardan farklı çözgü ve atkı ipliklerini içerecek şekilde üçer tane örnek hazırlanmıştır. Kumaşın kumaşa sürtünmesi ile statik elektriklenme testi için ise sadece Tablo 2.4'de yer alan kumaşlar kullanılmıştır. D12, D13, D14, D15, D16, D17 ve D18 astarlık kumaşları sürtme kumaşı olarak belirlenmiş ve bu grupta geriye kalan giysilik kumaşlar test edilmiştir. Örnekler astar-kumaş çifti şeklinde her çiftten üç tane olmak üzere ve her bir örnek farklı çözgü ve atkı iplikleri içerecek şekilde hazırlanmıştır. Her kumaş çiftinden üç tekrar yapılmıştır. Testi yapılacak olan örnekler Şekil 2.9'daki gibi örnek tutucuya yerleştirilebilecek şekilde dört köşesinden delinerek hazırlanmıştır. Her iki testte de hazırlanan tüm örnekler %65 bağıl nem ve 20 C°'deki laboratuvar koşullarında antistatik masa örtüsü üzerinde 24 saat kondisyonlandıktan sonra aynı koşullar altında test edilmişlerdir. Tekrarlar arasında ise 24 saat beklenmiştir. Testi yapan kişi testler sırasında antistatik bileklik kullanmış ve hammaddesi pamuk olan önlük giymiştir. Test sırasında kullanılan standart yün keçeler üç kez kullanıldıktan sonra yenileri ile değiştirilmiştir.

Tablo 2.3 ve 2.4. 'de (C ve D grubunda) yer alan kumaşların testleri 48 saniye sürtme zamanında, Tablo 2.1. ve 2.2'de (A ve B grubunda) yer alan kumaşların testleri ise 8 saniye, 24 saniye ve 48 saniye olmak üzere üç farklı sürtme zamanında gerçekleştirilmiştir. Sürtünmenin tekrarlanma etkisi ile meydana gelen statik elektriklenme miktarını artıracağı göz önünde bulundurularak sürtme zamanının poliester kumaşların elektrostatik gerilim değerlerine etkisini araştırmak için A ve B grubunda yer alan kumaşlar üç faklı sürtme zamanında test edilmişlerdir. Kumaşın kumaşa sürtünmesi ile statik elektriklenmenin gerçekleştirildiği astar – kumaş kombinasyonu testlerinde ise sürtme zamanı 48 saniyedir. Sürtünme ile elektriklenme testinin yapılış aşamaları Şekil 2.8' de verilmiştir.



Şekil 2.8 Sürtünme ile statik elektriklenme testinin aşamaları
(a) Örneğin örnek tutucuya yerleştirilmesi
(b) Örneğin örnek tutucuda sabitlenmesi
(c) Örnek tutucunun sürtme konumuna getirilmesi
(d) Örnek tutucu ölçüm konumunda iken elektrostatik gerilimin ölçülmesi



Şekil 2.9 Sürtünme ile statik elektriklenme testi için kullanılan örnek boyutları

BÖLÜM ÜÇ
ARAŞTIRMA SONUÇLARI

3.1 Ölçüm Düzeneği ile Elde Edilen Sonuçların Tekrarlanabilirliği

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi Kennedy Uzay Merkezi Uzay Üssü Mühendislik ve Teknoloji Laboratuvar Bölümü tarafından 15 Kasım 2002 tarihinde yayımlanan MMA-1985-79 numaralı raporda sürtünme ile elektrostatik yük oluşumu ve boşalımının değerlendirilmesi için geliştirilen ölçüm düzeneğinden esinlenilerek üretilen ölçüm düzeneğinde Wolfgang Warmbier marka 7100. EFM 51 model elektrostatik alan ölçer ile kumaşlar üzerinde yapılan elektrostatik gerilim ölçümlerinden tekrarlanabilir sonuçlar elde edilebildiğini göstermek amacıyla her kumaş tipinden üç örnek hazırlanmış ve test, her üç örnek için üçer kez tekrarlanmıştır. Sürtme materyali olarak kullanılan standart yün keçeler üç kez kullanıldıktan sonra yenileri ile değiştirilmiştir. Astar – kumaş kombinasyonlarında her kumaş tipinden hazırlanan üç örnek için sürtme materyali olarak 7 farklı astardan üçer astar örneği hazırlanmış ve her kumaş örneğinin tekrarında aynı astar örneği kullanılmıştır. Ayrıca A ve B grubu kumaşlarda üç farklı sürtme zamanında yapılan testlerde her sürtme zamanı için yeni örnekler hazırlanmıştır. SPSS 15.0 istatistik paket programı kullanılarak yapılan varyans analizleri ile ölçülen elektrostatik gerilim değerlerinin tekrarlanabilirliği test edilmiştir. A ve B grubunda yer alan kumaşlardan üç farklı sürtme zamanında elde edilen elektrostatik gerilim değerlerine tekrarlar arası farkın etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmektedir. A grubunda yer alan kumaşlar için varyans analizi sonuçlarına göre tekrarlar arası fark 8 saniye sürtme zamanında A2 ve A4 kumaşlarında, 24 saniye sürtme zamanında A2 ve A6 kumaşlarında, 48 saniye sürtme zamanında ise sadece A9 kumaşında istatistiksel açıdan önemli, A grubunda yer alan diğer tüm kumaş tiplerinde tekrarlar arası farkın elektrostatik gerilime etkisi istatistiksel açıdan önemsizdir. B grubunda yer alan kumaşlar için ise varyans analizi sonuçlarına göre tekrarlar arası fark 8 saniye sürtme zamanında sadece B9 kumaşında istatistiksel açıdan önemli, diğer kumaş tiplerinde önemsizdir. 24 saniye ve 48 saniye sürtme zamanlarında ise B grubunda yer alan tüm

kumaş tiplerinde tekrarlar arası farkın elektrostatik gerilime etkisi istatistiksel açıdan önemsizdir.

Tablo 3.1 A grubunda yer kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları

Sürtme Zamanı	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
8 Saniye	A1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,239	2	0,619	1,213	0,361
	A2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	5,480	2	2,740	8,506	0,018*
	A3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,027	2	0,014	0,011	0,989
	A4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,932	2	2,466	8,397	0,018*
	A5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,052	2	1,026	0,771	0,503
	A6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,069	2	0,535	0,081	0,923
	A7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,518	2	0,259	0,997	0,423
	A8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,661	2	1,330	3,642	0,092
	A9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,921	2	0,961	2,644	0,150
	A10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,444	2	0,222	0,894	0,457
	A11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,056	2	1,528	0,591	0,583
	A12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,168	2	0,084	0,071	0,932
24 Saniye	A1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,421	2	0,711	0,775	0,502
	A2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	7,323	2	3,662	8,742	0,017*
	A3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,582	2	0,291	0,84	0,477
	A4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,148	2	2,074	0,915	0,450
	A5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,750	2	0,375	0,17	0,848
	A6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	7,221	2	3,610	5,673	0,041*
	A7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,055	2	0,028	0,017	0,983
	A8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,091	2	0,046	0,167	0,850
	A9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,253	2	0,126	0,308	0,746
	A10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,708	2	0,854	0,427	0,671
	A11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,461	2	0,730	1,064	0,402
	A12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,368	2	0,184	0,326	0,734

Tablo 3.1 A grubunda yer kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları(devamı)

48 Saniye	A1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,315	2	1,658	2,836	0,136
	A2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,146	2	1,573	4,189	0,073
	A3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,361	2	2,181	1,064	0,402
	A4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,758	2	1,379	3,624	0,093
	A5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,200	2	1,100	2,173	0,195
	A6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	6,334	2	3,167	2,245	0,187
	A7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,403	2	0,702	2,008	0,215
	A8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,663	2	1,832	3,503	0,098
	A9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	5,217	2	2,609	8,351	0,018*
	A10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,563	2	0,782	1,557	0,285
	A11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,181	2	0,591	0,356	0,714
	A12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,189	2	0,095	0,116	0,892

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.2 B grubunda yer alan kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları

Sürtme Zamanı	**Kumaş No**	**Varyasyon Kaynağı**	**Bağımlı Değişken**	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**P**
8 Saniye	B1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,390	2	0,195	0,075	0,929
	B2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,567	2	0,284	1,018	0,416
	B3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,037	2	1,518	2,198	0,192
	B4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,152	2	0,076	0,252	0,785
	B5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,521	2	1,260	1,682	0,263
	B6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,083	2	1,042	0,199	0,824
	B7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,836	2	0,918	0,623	0,568
	B8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	5,087	2	2,544	3,602	0,094
	B9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,147	2	2,074	12,72	0,007*
	B10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,106	2	1,053	0,632	0,564
	B11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,615	2	0,307	0,243	0,792
	B12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,551	2	0,776	0,794	0,494

Tablo 3.2 B grubunda yer alan kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları(devamı)

24 Saniye	B1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,595	2	0,798	2,404	0,171
	B2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	7,750	2	3,875	3,316	0,107
	B3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,526	2	1,263	1,459	0,304
	B4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	9,949	2	4,974	2,029	0,212
	B5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,265	2	1,132	1,262	0,349
	B6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	18,914	2	9,457	3,724	0,089
	B7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	11,650	2	5,825	4,054	0,077
	B8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,347	2	0,174	0,134	0,877
	B9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,849	2	0,425	1,467	0,303
	B10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,060	2	0,530	0,617	0,570
	B11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	5,022	2	2,511	0,296	0,754
	B12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	9,411	2	4,706	0,626	0,566
48 Saniye	B1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,240	2	0,120	0,115	0,893
	B2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,411	2	0,206	0,439	0,664
	B3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,261	2	0,130	0,164	0,852
	B4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,488	2	0,244	0,140	0,872
	B5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	7,770	2	3,885	4,225	0,072
	B6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	6,919	2	3,460	2,918	0,130
	B7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,220	2	1,110	1,041	0,409
	B8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,812	2	0,906	0,549	0,604
	B9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,647	2	1,323	0,796	0,494
	B10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,211	2	0,106	0,076	0,928
	B11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,091	2	0,545	0,163	0,854
	B12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,170	2	0,585	0,327	0,733

*%95 güven seviyesi için $p<0,05$, istatistiksel olarak önemli

C grubunda yer alan kumaşların elektrostatik gerilim değerlerine kumaş örneklerinin tekrarları arasındaki farkının etkisini görebilmek için yapılan ve sonuçları Tablo 3.3'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre C1 ve C6 kumaşları dışında kalan diğer kumaş tiplerinde tekrarlar arası fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 3.3 C grubunda yer alan kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları

Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
C1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,051	2	0,026	9,997	0,012*
C2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	0,159	0,856
C3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,042	2	0,021	1,929	0,226
C4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,013	2	0,006	2,314	0,180
C5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,005	2	0,003	0,248	0,788
C6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,084	2	0,042	28,715	0,001*
C7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,017	2	0,008	3,117	0,118
C8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,001	2	0,000	0,189	0,832
C9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	1,448	0,307

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

D grubunda yer alan kumaşlardan edilen elektrostatik gerilim değerlerine tekrarlar arası farkın etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 3.4'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre D3 kumaşı dışında kalan diğer kumaşlarda tekrarlar arası farkın %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4 D grubunda yer alan kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları

Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,929	2	0,465	1,050	0,406
D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	0,159	0,856
D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	9,87E-05	2	4,93E-05	22,200	0,002*

Tablo 3.4 D grubunda yer alan kumaşlar için yapılan varyans analizi sonuçları(devamı)

D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,106	2	0,053	2,350	0,176
D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,615	2	0,308	2,017	0,214
D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,271	2	0,135	3,447	0,101
D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,36E-05	2	2,18E-05	8,167	0,019*
D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,008	2	0,004	1,842	0,238
D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,005	2	0,003	0,187	0,834
D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,013	2	0,006	2,087	0,205
D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,67E-06	2	1,33E-06	0,051	0,951
D12	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,16E-05	2	5,78E-06	0,619	0,570
D13	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,00E-06	2	4,00E-06	0,500	0,630
D14	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	5,480	2	2,740	2,742	0,143
D15	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,003	2	0,001	0,414	0,678
D16	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,27E-05	2	4,13E-05	0,427	0,671
D17	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,006	2	0,003	0,882	0,461
D18	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,309	2	0,154	0,348	0,719

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.5 – 3.11'de astar – kumaş kombinasyonu testlerinde her bir astar tipine sürtülen kumaşların elektrostatik gerilim değerlerine tekrarlar arası farkın etkisini gösteren varyans analizi sonuçları verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre astar – kumaş kombinasyonu testlerinde, sürtme materyali D17 astarı iken D8 kumaşı ve sürtme materyali D18 astarı iken D9 kumaşı dışındaki kumaş tiplerinin tekrarları arasındaki farkın elektrostatik gerilim değerlerine etkisinin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ortaya koyulmuştur. D12 astarında D3 kumaşı için, D16 astarında ise D3 ve D7 kumaşları için p değerinin hesaplanamaması bu kumaşlarda ölçülen elektrostatik gerilim değerlerinin aynı olması nedeniyle tekrarlar arasında fark bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.5 Astar-kumaş kombinasyonlarında D12 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D12 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,003	2	0,002	0,002	0,998
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,56E-06	2	1,78E-06	4,000	0,079
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	.	.
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,032	2	0,016	1,829	0,240
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,003	2	0,002	1,240	0,354
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,159	2	0,079	3,742	0,088
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,67E-06	2	1,33E-06	1,500	0,296
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,001	2	0,000	4,584	0,062
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	0,000	1,000
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,89E-07	2	4,44E-07	0,500	0,630
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,89E-07	2	4,44E-07	0,500	0,630

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.6 Astar-kumaş kombinasyonlarında D13 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D13 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,488	2	0,244	1,885	0,232
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,56E-06	2	1,78E-06	1,333	0,332
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,00E-06	2	4,00E-06	0,167	0,850
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,300	2	0,150	1,390	0,319
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,086	2	0,043	0,073	0,931
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,213	2	0,107	2,828	0,136
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,00E-06	2	4,00E-06	0,750	0,512
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	0,932	0,444
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	3,645	0,092
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,56E-06	2	1,78E-06	1,000	0,422
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	0,000	1,000

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.7 Astar-kumaş kombinasyonlarında D14 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	P
D14 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,185	2	1,093	2,903	0,131
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,62E-05	2	4,31E-05	0,080	0,924
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,67E-06	2	1,33E-06	0,375	0,702
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,402	2	0,201	1,675	0,264
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,030	2	0,515	4,361	0,068
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,757	2	0,378	0,959	0,435
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,87E-05	2	9,33E-06	4,200	0,072
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,012	2	0,006	1,497	0,297
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,002	2	0,001	0,553	0,602
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	2,551	0,158
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,001	2	0,001	0,611	0,573

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.8 Astar-kumaş kombinasyonlarında D15 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D15 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,488	2	0,244	1,117	0,387
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	1,333	0,332
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,56E-06	2	1,78E-06	1,333	0,332
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,420	2	0,210	2,504	0,162
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,106	2	1,053	2,030	0,212
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,905	2	0,452	4,419	0,066
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,89E-07	2	4,44E-07	1,000	0,422
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,003	2	0,002	0,296	0,754
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,019	2	0,010	2,382	0,173
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,87E-05	2	9,33E-06	0,255	0,783
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	1,213	0,361

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.9 Astar-kumaş kombinasyonlarında D16 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D16 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,495	2	0,248	1,641	0,270
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,02E-05	2	1,01E-05	2,275	0,184
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	.	.
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,035	2	0,018	1,005	0,420
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,189	2	0,095	2,416	0,170
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,078	2	0,039	0,893	0,458
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	0,000	.	.
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,00E-06	2	4,00E-06	0,632	0,564
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,36E-05	2	6,78E-06	0,143	0,869
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	8,89E-07	2	4,44E-07	0,500	0,630
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	4,20E-05	2	2,10E-05	0,578	0,589

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.10 Astar-kumaş kombinasyonlarında D17 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D17 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,251	2	0,125	0,265	0,776
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,56E-06	2	1,78E-06	2,000	0,216
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,67E-06	2	1,33E-06	1,500	0,296
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,135	2	0,068	0,434	0,667
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,674	2	0,337	1,743	0,253
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,034	2	0,017	1,265	0,348
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	6,22E-06	2	3,11E-06	1,750	0,252
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,002	2	0,001	10,970	0,010*
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,002	2	0,001	1,352	0,328
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	1,87E-05	2	9,33E-06	1,500	0,296
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,001	2	0,000	19,390	0,002

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.11 Astar-kumaş kombinasyonlarında D18 astarı için yapılan varyans analizi sonuçları

Astar No	Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
D18 NOLU ASTAR	D1	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,367	2	1,184	1,957	0,222
	D2	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,023	2	0,011	1,835	0,239
	D3	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	6,22E-06	2	3,11E-06	0,875	0,464
	D4	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	3,265	2	1,632	3,761	0,087
	D5	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,540	2	0,270	0,816	0,486
	D6	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,338	2	1,169	3,903	0,082
	D7	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,000	2	7,60E-05	7,125	0,026*
	D8	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,026	2	0,013	1,352	0,328
	D9	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	0,508	0,626
	D10	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	0,004	2	0,002	3,720	0,089
	D11	Tekrar	Elektrostatik Gerilim	2,49E-05	2	1,24E-05	2,800	0,138

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre üretilen ölçüm düzeneği ile tekrarlanabilir sonuçlar elde edilebildiği ortaya konulmuştur.

3.2 Sürtme Zamanının ve Yapısal Parametrelerin Poliester Dokuma Kumaşların Statik Elektriklenmesine Etkisi

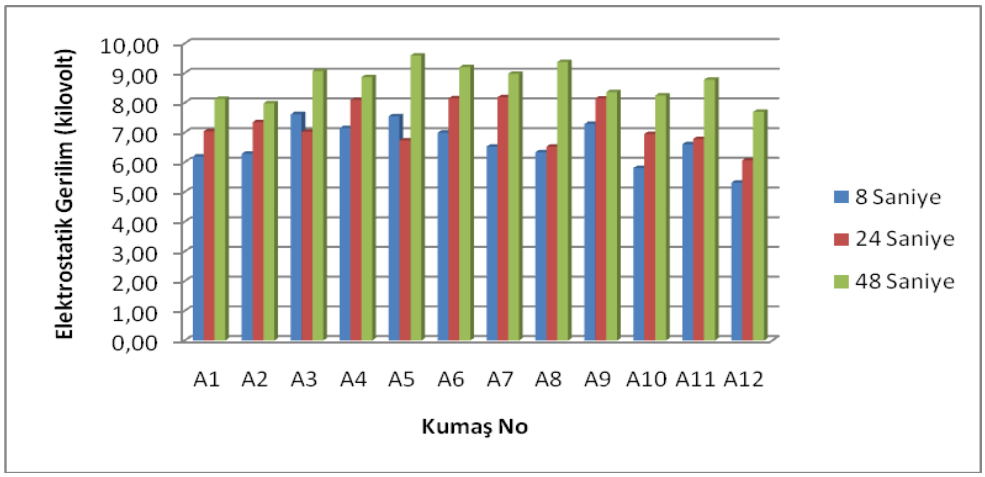
Kumaşların statik elektriklenmesine dokuma kumaşların yapısal parametrelerinin ve sürtme zamanının etkisini incelemek amacıyla sistematik olarak üretilmiş A ve B grubunda yer alan poliester dokuma kumaşların sürtünme ile elektriklenme sonucunda meydana gelen elektrostatik gerilim değerleri üç farklı sürtme zamanında ölçülmüştür.

3.2.1 A Grubu Poliester Kumaşların Elektrostatik Gerilim Ölçüm Sonuçları

A grubunda yer alan kumaşların 8 saniye, 24 saniye ve 48 saniye sürtme zamanlarında sürtünme ile elektriklenme sonucunda meydan gelen elektrostatik gerilim sonuçları Tablo 3.12'de ve sonuçlara ait grafik ise Şekil 3.1'de yer almaktadır. Test sırasında yün keçeye karşı sürtülen A grubunda yer alan poliester kumaşlar negatif statik elektrik yükü ile yüklenmiştir.

Tablo 3.12 A grubunda yer alan kumaşlara ait elektrostatik gerilim değerleri(kilovolt)

Sürtme Zamanı	**Örnek No**	**Kumaş No**					
		A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**
8 sn	1	6,053	6,240	6,480	7,067	7,173	7,040
	2	6,640	6,000	8,480	7,280	7,627	9,440
	3	5,893	6,613	7,893	7,093	7,840	4,500
	Ortalama	6,196	6,284	7,618	7,147	7,547	6,993
24 sn	1	6,623	7,520	6,960	9,347	6,587	8,613
	2	6,843	6,907	7,040	7,840	7,507	7,920
	3	7,653	7,627	7,067	7,100	6,107	7,920
	Ortalama	7,040	7,351	7,022	8,096	6,733	8,151
48 sn	1	7,440	7,573	8,400	8,773	9,607	9,863
	2	8,853	7,867	9,560	9,467	10,000	9,707
	3	8,107	8,507	9,247	8,347	9,173	8,040
	Ortalama	8,133	7,982	9,069	8,862	9,593	9,203
Sürtme Zamanı	**Örnek No**	**Kumaş No**					
		A7	**A8**	**A9**	**A10**	**A11**	**A12**
8 sn	1	6,747	6,800	7,520	6,027	6,667	5,107
	2	6,373	6,533	6,693	5,977	7,947	4,580
	3	6,454	5,682	7,653	5,420	5,200	6,240
	Ortalama	6,525	6,338	7,289	5,808	6,604	5,309
24 sn	1	7,707	6,507	7,547	5,707	6,080	5,760
	2	8,293	6,880	8,267	6,773	6,773	5,787
	3	8,560	6,187	8,627	8,363	7,493	6,640
	Ortalama	8,187	6,524	8,147	6,948	6,782	6,062
48 sn	1	9,260	9,333	7,867	7,520	8,507	7,760
	2	8,693	9,880	8,533	8,640	10,073	6,853
	3	8,987	8,913	8,680	8,587	7,760	8,480
	Ortalama	8,980	9,376	8,360	8,249	8,780	7,698



Şekil 3.1 A grubu kumaşlarının üç farklı sürtme zamanında ortalama elektrostatik gerilim değerleri

A grubunda yer alan kumşalar için kumaş tipinin statik elektriklenmeye etkisi Tablo 3.13'de yer alan varyans analizi sonuçlarına göre %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Tablo 3.13 A grubunda kumaş tipleri arasındaki farkı gösteren varyans analizi sonuçları

Sürtme Zamanı	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
8 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	49,269	11	4,479	3,723	0,000*
24 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	52,458	11	4,769	4,605	0,000*
48 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	35,224	11	3,202	3,336	0,001*

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

Örgü, sıklık ve atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilime etkisini araştırmak için yapılan ve sonuçları Tablo 3.14'de yer alan varyans analizi sonuşlarına göre 8 saniye sürtme zamanında örgünün etkisi, 24 saniye sürtme zamanında atkı sıklığının etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. 48 saniye sürtme zamanında ise örgü, atkı sıklığının ve atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilime etkisi istatistiksel açıdan önemsizdir. 8 saniye sürtme zamanında örgü açısından değerlendirme yapmak için atkı sıklığı değerleri ve atkı ipliği numaraları göz önünde bulundurularak ortalama değerleri incelendiğinde, aynı atkı ipliği numarasında atkı sıklığı değerleri biribirine en yakın olan A3 ve A7 kumaşları için bezayağı örgüye sahip A3 kumaşında 3/1 dimi örgüye sahip A7 kumaşına göre daha fazla elektrostatik gerilim meydana gelmiştir. 24 saniye sürtme zamanında her ne kadar istatistiksel olarak atkı sıklğının elektrostatik gerilim miktarlarına etkisi önemli

olsa da ortalama değerleri açısından atkı sıklığı artıkça elektrostatik gerilim miktarlarının düzenli olarak artma ya da azalma eğilimi gösterdiğini söylemek mümkün değildir.

Tablo 3.14 A grubu kumaşlarda örgü,sıklık ve atkı ipliğinin elektrostatik gerilime etkisi

Sürtme Zamanı	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
8 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	11,473	1	11,473	9,537	0,003*
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	0,532	1	0,532	0,442	0,508
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	2,815	2	1,407	1,170	0,315
24 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	2,279	1	2,279	2,201	0,141
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	1,685	1	1,685	1,627	0,205
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	9,781	2	4,89	4,723	0,011*
48 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	1,472	1	1,472	1,534	0,219
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	0,177	1	0,177	0,184	0,669
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	3,183	2	1,592	1,658	0,196

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

A grubunda yer alan kumaşlar için Tablo 3.15'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre elektrostatik gerilim değerlerine sürtme zamanının etkisi istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama elektrostatik gerilim değerleri de incelendiğinde A3 ve A5 kumaşı haricinde sürtme zamanı artıkça kumaş üzerinde oluşan elektrostatik gerilim artış göstermiştir.

Tablo 3.15 A grubu kumaşlarında sürtme zamanı varyans analizi sonuçları

Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
A1	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	16,990	2	8,495	11,299	0,000*
A2	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	13,256	2	6,628	7,024	0,004*
A3	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	19,948	2	9,974	8,930	0,001*
A4	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	13,294	2	6,647	5,410	0,011*
A5	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	39,090	2	19,545	16,026	0,000*
A6	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	21,995	2	10,998	3,962	0,033*

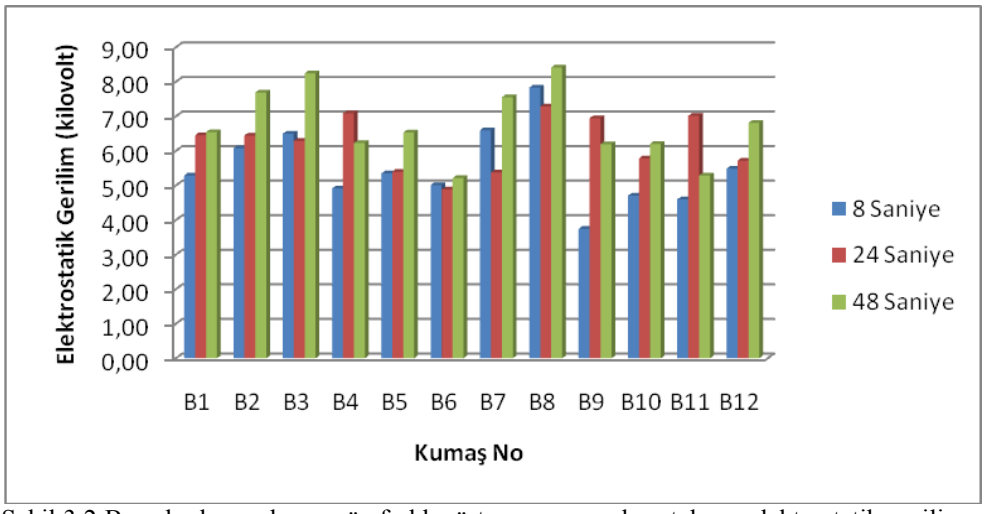
Tablo 3.15 A grubu kumaşlarında sürtme zamanı varyans analizi sonuçları(devamı)

A7	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	28,266	2	14,133	22,183	0,000*
A8	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	52,154	2	26,077	46,764	0,000*
A9	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	5,786	2	2,893	4,993	0,015*
A10	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	26,855	2	13,427	15,941	0,000*
A11	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	26,267	2	13,134	8,933	0,001*
A12	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	26,848	2	13,424	20,038	0,000*

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

3.2.2 B Grubu Poliester Kumaşların Elektrostatik Gerilim Ölçüm Sonuçları

B grubu kumaşların üç farklı sürtme zamanında sürtünme ile elektriklenme sonucunda meydan gelen elektrostatik gerilim sonuçları Tablo 3.16'da ve sonuçlara ait grafik ise Şekil 3.2'de yer almaktadır. Test sırasında yün keçeye karşı sürtülen B grubunda yer alan poliester kumaşlar negatif statik elektrik yükü ile yüklenmiştir.



Şekil 3.2 B grubu kumaşlarının üç farklı sürtme zamanında ortalama elektrostatik gerilim değerleri

Tablo 3.16 B grubu kumaşlarına ait elektrostatik gerilim değerleri(kilovolt)

Sürtme Zamanı	Örnek No	Kumaş No					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
8 sn	1	3,623	5,973	6,160	5,093	5,280	3,593
	2	6,773	5,867	7,307	4,760	5,360	3,980
	3	5,467	6,400	6,013	4,893	5,407	7,467
	Ortalama	5,288	6,080	6,493	4,916	5,349	5,013
24 sn	1	5,813	7,200	5,600	6,327	5,707	5,793
	2	6,817	5,867	7,120	7,947	5,760	4,913
	3	6,720	6,267	6,160	6,993	4,727	3,940
	Ortalama	6,450	6,444	6,293	7,089	5,398	4,882
48 sn	1	5,707	8,027	7,960	6,160	6,613	4,153
	2	7,040	7,600	8,267	7,040	6,053	5,920
	3	6,880	7,440	8,507	5,493	6,933	5,567
	Ortalama	6,542	7,689	8,244	6,231	6,533	5,213
Sürtme Zamanı	Örnek No	Kumaş No					
		B7	B8	B9	B10	B11	B12
8 sn	1	5,707	7,840	3,913	4,320	4,207	6,347
	2	7,867	7,627	3,580	5,540	5,520	5,000
	3	6,213	8,027	3,740	4,247	4,060	5,120
	Ortalama	6,596	7,831	3,744	4,702	4,596	5,489
24 sn	1	1,440	6,613	7,080	5,407	9,330	7,660
	2	6,587	8,560	6,720	5,920	7,627	4,103
	3	8,093	6,693	7,040	6,027	4,080	5,387
	Ortalama	5,373	7,289	6,947	5,784	7,012	5,717
48 sn	1	6,960	7,067	6,533	5,700	7,147	7,627
	2	8,427	8,667	6,747	6,400	4,793	6,267
	3	7,280	9,507	5,307	6,507	3,933	6,533
	Ortalama	7,556	8,413	6,196	6,202	5,291	6,809

B grubunda yer alan kumaşlar için kumaş tipinin elektrostatik gerilim değerlerine etkisi Tablo 3.17'de yer alan varyans analizi sonuçlarına göre %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Tablo 3.17 B grubunda kumaş tipleri arasındaki farkı gösteren varyans analizi sonuçları

Sürtme Zamanı	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
8 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	118,256	11	10,751	8,552	0,000*
24 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	57,012	11	5,183	2,071	0,030*
48 sn	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	122,558	11	11,142	8,383	0,000*

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

B grubunda yer alan kumaşlarda örgü tipi, atkı sıklığı ve atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilime etkisini araştırmak için yapılan ve sonuçları Tablo 3.18'de yer alan varyans analizi sonuçlarına göre, üç farklı sürtme zamanı için de atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilime etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemlidir. Atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilim değerlerine etkisi istatisatiksel olarak önemli olsa da ortalama elektrostatik gerilim değerlerine göre atkı ipliği numarası değiştiğinde elektrostatik gerilim değerlerinde düzenli olarak artma ya da azalma meydana geldiğini söylemek mümkün değildir. Örgü tipinin elektrostatik gerilime etkisi üç sürtme zamanı için de istatistiksel açıdan önemsizdir. 8 saniye sürtme zamanında atkı sıklığının elektrostatik gerilime etkisi istatistiksel olarak önemli iken, 24 ve 48 saniye sürtme zamanında önemsizdir. 8 saniye sürtme zamanında atkı sıklığının elektrostatik gerilime etkisi istatistiksel olarak önemli olsa da ortalama elektrostatik gerilim değerlerine göre atkı sıklığı değiştiğinde elektrostatik gerilim değerlerinde düzenli olarak artma ya da azalma meydana geldiğini söylemek mümkün değildir.

Tablo 3.18 B grubunda örgü tipi,sıklık ve atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilime etkisi

Sürtme Zamanı	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
8 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	0,025	1	0,025	0,020	0,889
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	26,711	1	26,711	21,248	0,000*
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	11,872	2	5,936	4,722	0,011*
24 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	6,997	1	6,997	2,800	0,098
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	14,542	1	14,542	5,810	0,018*
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	10,406	2	5,203	2,080	0,131
48 Saniye	Örgü	Elektrostatik Gerilim	0,173	1	0,173	0,130	0,719
	Atkı ipliği no	Elektrostatik Gerilim	58,433	1	58,433	44	0,000*
	Atkı sıklığı	Elektrostatik Gerilim	4,473	2	2,236	1,68	0,191

*%95 güven seviyesi için $p<0,05$, istatistiksel olarak önemli

B grubunda yer alan kumaşlar için sonuçları Tablo 3.19'da verilen varyans analizi sonuçlarına göre B6, B7, B8 ve B12 kumaşları dışındaki diğer kumaşlarda sürtme zamanının elektrostatik gerilim sonuçlarına etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama elektrostatik gerilim değerleri incelendiğinde B1, B2, B5 ve B10 kumaşlarında sürtme zamanı artıkça elektrostatik gerilim miktarı artış göstermiştir.

Tablo 3.19 B grubu kumaşlarında sürtme zamanı varyans analizi sonuçları

Kumaş No	Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
B1	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	8,799	2	4,399	4,044	0,031*
B2	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	12,810	2	6,405	7,603	0,003*
B3	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	20,740	2	10,370	12,491	0,000*
B4	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	21,570	2	10,785	6,892	0,004*
B5	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	8,084	2	4,042	3,471	0,047*
B6	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	0,320	2	0,160	0,047	0,954
B7	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	4,148	2	2,074	1,258	0,302
B8	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	5,692	2	2,846	2,342	0,118
B9	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	45,975	2	22,988	27,133	0,000*
B10	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	10,787	2	5,394	4,821	0,017*
B11	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	27,859	2	13,929	3,914	0,034*
B12	Sürtme Zamanı	Elektrostatik Gerilim	8,962	2	4,481	1,457	0,253

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

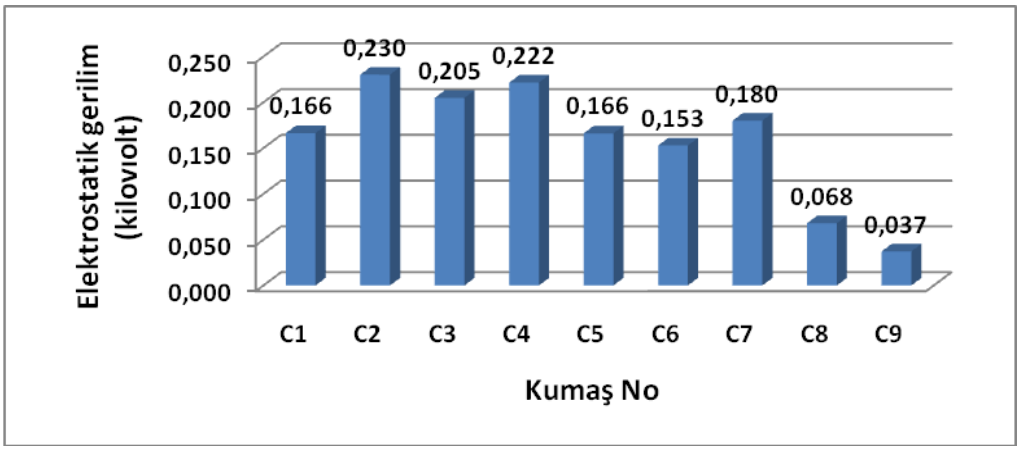
3.3 Yapısal Parametrelerin Pamuklu Dokuma Kumaşların Statik Elektriklenmesine Etkisi

Pamuklu dokuma kumaşlarda yapısal parametrelerin statik elektriklenmeye etkisini incelemek için sistematik olarak üretilmiş, C grubunda yer alan, kumaşların sürtünme ile elektriklenme sonucu ortaya çıkan elektrostatik gerilim değerleri 48

saniye sürtme zamanında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.20 ve sonuçlara ait grafik Şekil 3.3'de yer almaktadır.

Tablo 3.20 C Grubu pamuklu kumaşlara ait elektrostatik gerilim değerleri(kilovolt)

Örnek No	Kumaş No								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0,192	0,191	0,099	0,240	0,179	0,171	0,202	0,026	0,048
2	0,121	0,326	0,278	0,228	0,123	0,155	0,157	0,114	0,025
3	0,186	0,173	0,238	0,197	0,196	0,133	0,181	0,064	0,039
Ortalama	0,166	0,230	0,205	0,222	0,166	0,153	0,180	0,068	0,037



Şekil 3.3 C grubu pamuklu kumaşlarının 48 saniye sürtme zamanında ortalama elektrostatik gerilim değerleri

Tablo 3.21'de yer alan varyans analizi sonuçlarına göre C grubunda yer alan pamuklu kumaşlar için kumaş tipinin statik elektriklenmeye etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemlidir.

Tablo 3.21 C grubundaki pamuklu kumaş tipleri arasındaki farkı gösteren varyans analizi sonucu

Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	0,313	8	0,039	5,558	0,000*

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

Tablo 3.22'de yer alan varyans analizi sonuçlarına göre C grubu kumaşlarında elektrostatik gerilime örgü, sıklık ve örgü ile sıklığın beraber etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel açıdan önemlidir. Ortalama elektrostatik gerilim değerleri incelendiğinde 2/1 dimi örgüye sahip C4, C5, C6 ve 3/1 dimi örgüye sahip C7, C8, C9 kumaşları kendi aralarında değerlendirildiğinde sıklık artıkça elektrostatik gerilim

azalmış ve 3/1 dimi örgüye sahip kumaşlarda elektrostatik gerilim bezayağı ve 2/1 dimi örgüye sahip kumaşlara göre daha az meydana gelmiştir.

Tablo 3.22 C grubu pamuklu kumaşlarda örgü tipi ve sıklığın elektrostatik gerlime etkisi

Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Örgü	Elektrostatik Gerilim	0,169	2	0,085	11,994	0,000*
Sıklık	Elektrostatik Gerilim	0,045	2	0,023	3,227	0,045*
Örgü*Sıklık	Elektrostatik Gerilim	0,099	4	0,025	3,505	0,011*

*%95 güven seviyesi için p<0,05 istatistiksel olarak önemli

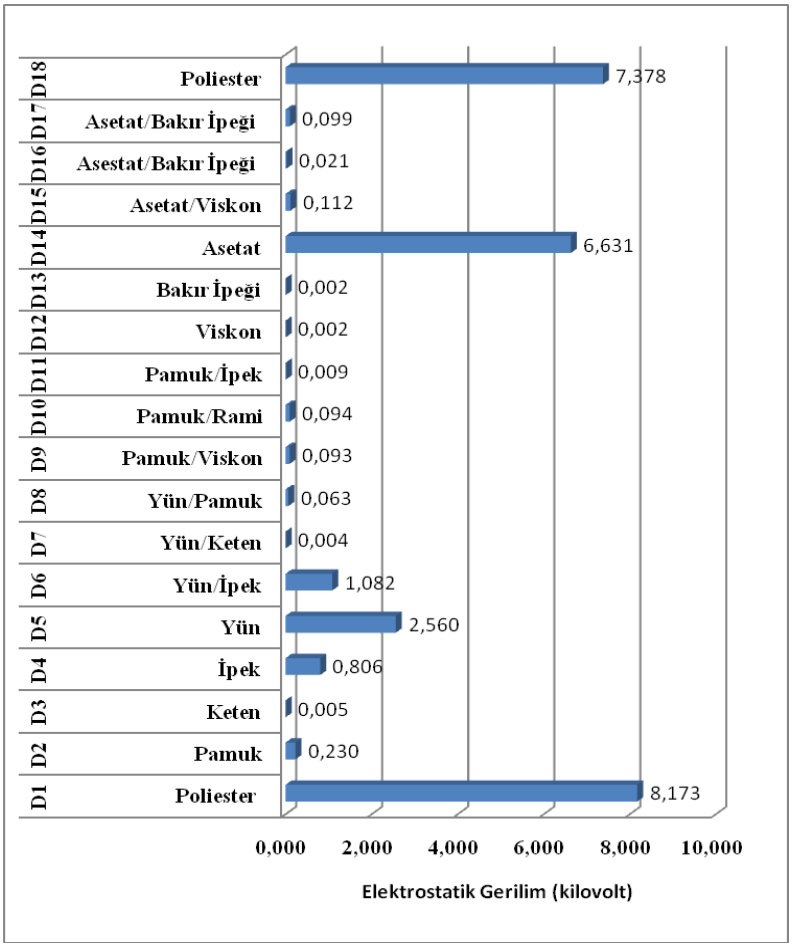
3.4 Ticari Olarak Kullanılan Çeşitli Giysilik Kumaşların Elektrostatik Gerilim Ölçüm Sonuçları

Giysilik kumaşların statik elektriklenmesi kullanım performansı ve kişinin konforu açısından önemli bir etken olduğundan çalışmanın bu bölümünde giysi üretiminde sıklıkla kullanılan çeşitli kumaşların sürtünme ile statik elektriklenme eğilimlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi düşünülmüştür. Çünkü kullanım sırasında giysi, hem kişi ile giysi arasındaki sürtünmeye, hem var ise astarı ile arasındaki sürtünmeye ya da kişinin günlük hayatında temas haline bulunduğu diğer tekstil yüzeyleri arasındaki sürtünmeye maruz kalmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda D grubunda yer alan pazarda mevcut, hammaddeleri farklı giysilik ve astarlık ticari kumaşların üzerinde sürtünme ile elektriklenme sonucunda oluşan elektrostatik gerilim değerleri ölçülmüştür. D grubunda yer alan kumaşların 48 saniye sürtme zamanında elde edilen elektrostatik gerilim değerleri Tablo 3.23 ‘de ve ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.4’de verilmektedir. Test sırasında yün keçeye karşı sürtülen hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15, hammaddesi asetat/bakıripeği olan D16 ve hammaddesi asetat/bakır ipeği olan D17 kumaşları pozitif elektrik yükü ile yüklenirken bu kumaşların dışında kalan ve hammaddeleri poliester, asetat, bakır ipeği, viskon, pamuk/ipek, pamuk/rami, pamuk/viskon, yün/pamuk, yün/keten, yün/ipek, yün, ipek ve pamuk olan kumaşlar negatif elektrik yükü ile yüklenmiştir.

Tablo 3.23 D Grubu kumaşlara ait elektrostatik gerilim değerleri(kilovolt)

Örnek No	Kumaş No								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	8,107	0,191	0,005	0,798	2,600	1,015	0,005	0,016	0,034
2	8,560	0,326	0,006	0,803	2,760	1,021	0,004	0,101	0,208
3	7,853	0,173	0,005	0,819	2,320	1,210	0,004	0,072	0,036
Ortalama	8,173	0,230	0,005	0,806	2,560	1,082	0,004	0,063	0,093
Örnek No	**Kumaş No**								
	D10	**D11**	**D12**	**D13**	**D14**	**D15**	**D16**	**D17**	**D18**
1	0,061	0,007	0,001	0,002	6,240	0,079	0,015	0,103	7,227
2	0,149	0,008	0,001	0,003	6,507	0,089	0,022	0,135	7,627
3	0,072	0,011	0,005	0,001	7,147	0,167	0,025	0,059	7,280
Ortalama	0,094	0,009	0,002	0,002	6,631	0,112	0,021	0,099	7,378



Şekil 3.4 D grubu kumaşlarının 48 saniye sürtme zamanında ortalama elektrostatik gerilim değerleri

Tablo 3.24'de verilen varyans analizi sonucuna göre, D grubunda yer alan kumaş tiplerinin elektrostatik gerilim değerlerine etkisinin %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 3.24 D grubunda kumaş tipleri arasındaki farkı gösteren varyans analizi sonucu

Varyasyon Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	1188,71	17	69,924	489,264	0,000*

*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

Ortalama elektrostatik gerilim değerleri incelediğinde en fazla elektrostatik gerilim hammaddesi poliester olan D1 kumaşında meydana gelmiştir. D1 kumaşını sırası ile yine hammaddesi poliester olan D18 kumaşı, hammaddesi asetat olan D14 kumaşı, hammaddesi yün olan D5 kumaşı, hammaddesi yün/ipek olan D6 kumaşı ve hammaddesi ipek olan D4 kumaşı izlemektedir. D grubunda yer alan kumaşlar arasında hammaddesi poliester ve asetat olan kumaşlarda statik elektriklenmeye yatkınlığın grupta yer alan diğer kumaşlara göre çok daha fazla olduğu görülmektedir.

D4, D5, D6, D7 ve D8 birarada değerlendirildiğinde yünün pamuk ve keten ile karışım halinde bulunduğu D7 ve D8 kumaşlarında elektrostatik gerilim, hammaddesi yün olan D5 kumaşının elektrostatik gerilimine göre çok daha düşük elde edilmiştir. Yün ile ipeğin karışım halinde bulunduğu D6 kumaşında elektrostatik gerilim; hammaddesi yün olan D5 kumaşına göre daha düşük, hammadddesi ipek olan D4 kumaşına göre ise daha fazla oluşmuştur.

Pamuk ve ipeği karışım halinde içeren D11 kumaşında %100 ipek olan D4 kumaşına göre çok daha az statik elektriklenme meydana gelmiştir.

D16 ve D17 kumaşları birarada değerlendirildiğinde asetat/bakıripeği oranı 46/54 olan D16 kumaşında ortalama elektrostatik gerilim değeri 0,021 kilovolt elde edilirken, asetat/bakıripeği oranı 55/45 olan D17 kumaşında 0,099 kilovolt elde edilmiştir.

D12, D14 ve D15 kumaşları birarada değerlendirildiğinde hammaddesi viskon olan D12 kumaşında statik elektriklenme, hammaddesi asetat olan D14 kumaşına göre çok az oluşmuştur. Hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15 kumaşında ortalama elektrostatik gerilim 0,112 kilovolt olarak ölçülürken, hammaddesi viskon D12 kumaşında 0,002 kilovolt, hammaddesi asetat olan D14 kumaşında ise 6,631

kilovolt ölçülmüştür. Benzer şekilde asetatın bakıripeği ile karışım halinde bulunduğu D16 ve D17 kumaşlarında da hammaddesi asetat olan D14 kumaşına göre çok daha düşük elektrostatik gerilim değerleri elde edilmiştir. Asetatın viskon ya da bakıripeği ile karışım halinde kullanılmasının kumaşın statik elektriklenme eğilimini azalttığı görülmektedir.

Hammaddesi pamuk olan D2 kumaşında, pamuğun ipek, rami, viskon ve yün ile karışım halinde bulunduğu D11, D10, D9 ve D8 kumaşlarına göre daha fazla elektrostatik gerilim meydana gelmiştir.

3.5 Astar–Kumaş Kombinasyonlarında Elektrostatik Gerilim Ölçüm Sonuçları

Özellikle ceket, elbise, etek ve kaban gibi giysilerde astar kullanılmaktadır. Giysinin astarı ile kumaşı arasındaki ya da vücut ile astar arasındaki sürtünme sebebiyle kumaşlar ve kişi üzerinde elektrostatik yük birikimi meydana gelmektedir. Giysi üretimi sırasında astar seçimi yapılırken statik elektriklenme açısından giysilik kumaşta en az statik elektriklenme oluşturacak astarı tercih etmek giysinin kullanım performansı ve giysi konforu açısından önemli bir noktadır. Bu nokta göz önünde bulundurularak ticari olarak kullanılan giysilik ve astarlık kumaşlarla astar – kumaş kombinasyonları oluşturularak kumaşlar üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sırasında sürtme materyali olarak astar kumaşları tercih edilmiştir. Testleri yapılan kumaşlar üzerinde 48 saniye sürtme zamanı sonunda oluşan elektrostatik gerilim değerleri Tablo 3. 25'de yer almaktadır.

Tablo 3.25 Astar-kumaş kombinasyonlarında ölçülen elektrostatik gerilim değerleri(kilovolt)

Astar No	**Örnek No**	**Kumaş No**										
		D1	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**D8**	**D9**	**D10**	**D11**
D12	1	4,073	0,003	0,004	0,451	0,113	0,447	0,006	0,020	0,000	0,003	0,005
	2	5,683	0,003	0,004	0,607	0,143	0,555	0,005	0,014	0,001	0,004	0,004
	3	4,987	0,002	0,004	0,543	0,177	0,604	0,007	0,027	0,001	0,003	0,005
	Ortalama	4,914	0,002	0,004	0,534	0,144	0,535	0,006	0,020	0,001	0,004	0,004
D13	1	6,213	0,006	0,013	2,333	2,453	2,507	0,009	0,059	0,034	0,005	0,005
	2	6,480	0,005	0,011	2,447	2,400	2,233	0,012	0,033	0,033	0,004	0,005
	3	6,800	0,007	0,005	2,313	1,133	2,353	0,009	0,043	0,032	0,004	0,004
	Ortalama	6,498	0,006	0,009	2,364	1,996	2,364	0,010	0,045	0,033	0,004	0,005

Tablo 3.25 Astar-kumaş kombinasyonlarında ölçülen elektrostatik gerilim değerleri (devamı)

D14	1	4,060	0,172	0,006	8,613	8,587	7,040	0,015	0,366	0,261	0,033	0,194
	2	4,000	0,163	0,005	8,213	8,160	6,107	0,016	0,281	0,257	0,029	0,250
	3	3,473	0,164	0,007	8,080	8,160	7,147	0,017	0,299	0,205	0,035	0,236
	Ortalama	3,844	0,166	0,006	8,302	8,302	6,764	0,016	0,315	0,241	0,032	0,227
D15	1	9,547	0,039	0,002	2,580	5,680	5,227	0,002	0,306	0,214	0,022	0,241
	2	8,960	0,033	0,002	2,720	4,973	4,887	0,003	0,315	0,203	0,023	0,277
	3	9,067	0,032	0,003	2,627	4,680	5,240	0,002	0,217	0,201	0,028	0,283
	Ortalama	9,191	0,035	0,002	2,642	5,111	5,118	0,002	0,279	0,206	0,024	0,267
D16	1	9,667	0,013	0,004	0,680	1,270	1,340	0,004	0,040	0,029	0,002	0,025
	2	9,467	0,013	0,004	0,677	1,337	1,043	0,004	0,038	0,024	0,001	0,028
	3	9,760	0,012	0,004	0,569	1,577	1,287	0,004	0,038	0,036	0,002	0,024
	Ortalama	9,631	0,013	0,004	0,642	1,394	1,223	0,004	0,039	0,030	0,002	0,026
D17	1	9,867	0,001	0,003	0,583	3,913	2,680	0,005	0,017	0,002	0,005	0,056
	2	9,440	0,001	0,002	0,629	4,587	2,787	0,005	0,017	0,037	0,003	0,053
	3	9,040	0,001	0,003	1,250	3,833	2,733	0,006	0,031	0,043	0,003	0,057
	Ortalama	9,449	0,001	0,003	0,821	4,111	2,733	0,005	0,022	0,027	0,003	0,055
D18	1	6,330	0,256	0,005	9,807	8,933	8,200	0,024	0,621	0,832	0,143	0,014
	2	6,507	0,318	0,005	8,737	8,920	7,993	0,024	0,560	0,802	0,146	0,017
	3	6,507	0,223	0,007	9,560	8,373	8,147	0,026	0,647	0,823	0,131	0,017
	Ortalama	6,448	0,266	0,006	9,368	8,742	8,113	0,025	0,610	0,819	0,140	0,016

Elektrostatik gerilim sonuçları açısından astar-kumaş kombinasyonlarında astarlara karşı sürtülen kumaş tipleri arasındaki farkın önemli olup olmadığını ortaya koyabilmek için yapılan varyans analizleri sonuçları Tablo 3.26'da verilmiştir. Sonuçlara göre kumaş tipinin elektrostatik gerilim sonuçlarına etkisi %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Tablo 3.26 Astar-kumaş kombinasyonlarında kumaşlar arası fark için varyans analizi

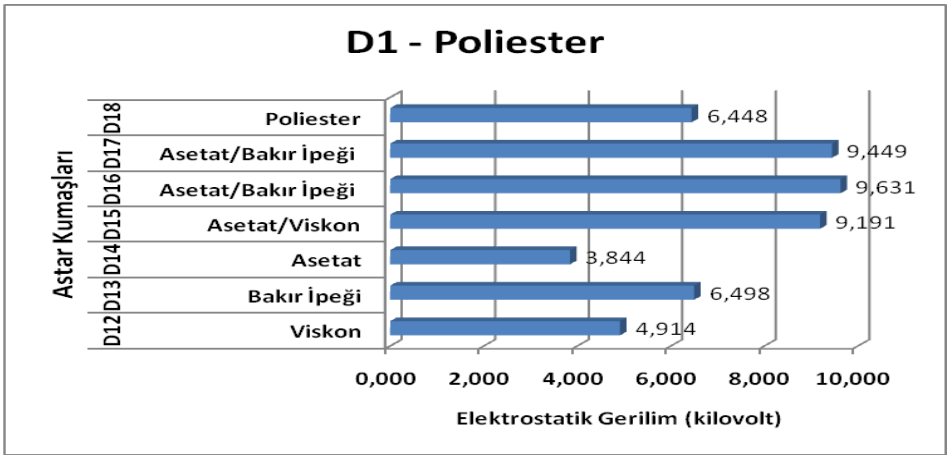
Astar No	**Varyasyon Kaynağı**	**Bağımlı Değişken**	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**P**
D12	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	191,561	10	19,156	383,357	0,000*
D13	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	371,003	10	37,100	518,960	0,000*
D14	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	1136,066	10	113,607	953,185	0,000*
D15	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	867,483	10	86,748	799,127	0,000*
D16	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	731,101	10	73,110	2790,357	0,000*
D17	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	786,076	10	78,608	1129,399	0,000*

Tablo 3.26 Astar-kumaş kombinasyonlarında kumaşlar arası fark için varyans analizi (devamı)

D18	Kumaş Tipi	Elektrostatik Gerilim	1477,679	10	147,768	695,275	0,000*

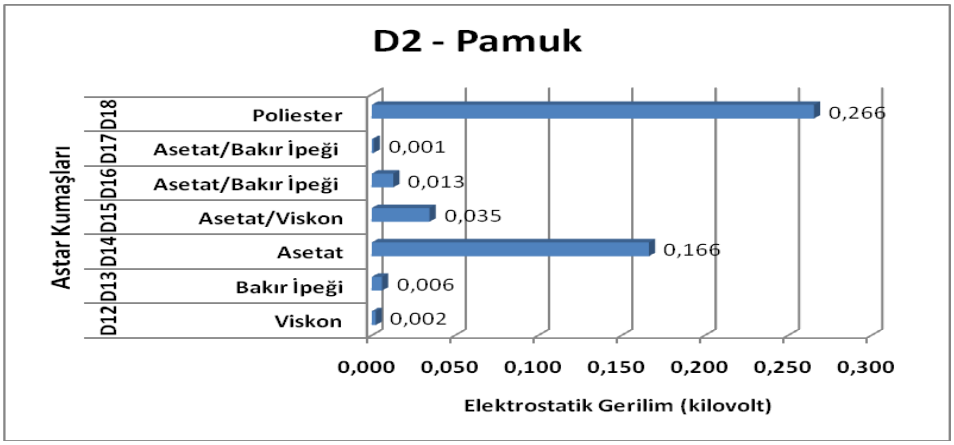
*%95 güven seviyesi için p<0,05, istatistiksel olarak önemli

D1 kumaşının astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda elde edilen ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.5'de yer almaktadır. Hammaddesi poliester olan D1 kumaşının astarlara sürtünmesi sonucu oluşan elektrostatik gerilim değerlerinin incelenen kumaş tipleri içindeki en yüksek değerler olduğu görülmüştür. D1 kumaşı üzerinde en düşük statik elektriklenme değeri hammaddesi asetat olan D14 astarında, en yüksek statik elektriklenme değeri hammaddesi asetat/bakır ipeği olan D16 astarında meydana gelmiştir.



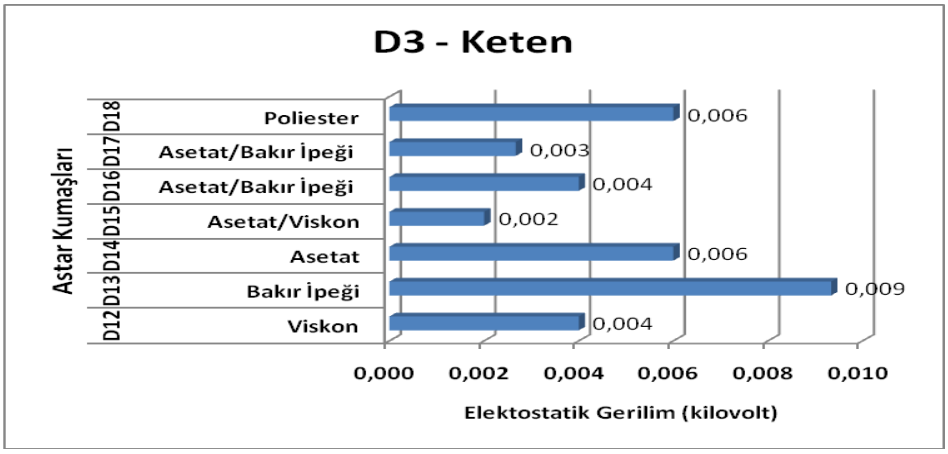
Şekil 3.5 D1 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

D2 kumaşı üzerinde, kumaşın astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda elde edilen ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.6'da yer almaktadır. Ortalama elektrostatik gerilim değerlerine göre hammaddesi pamuk olan D2 kumaşı üzerinde hammaddesi asetat olan D14 ve hammaddesi poliester olan D18 astarları diğer astarlara göre daha fazla elektrostatik gerilim oluşturmuştur.



Şekil 3.6 D2 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

D3 kumaşı üzerinde astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda oluşan ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.7'de görülmektedir. Hammaddesi keten olan D3 kumaşının astarlara sürtünmesi sonucu oluşan elektrostatik gerilim değerleri diğer tüm kumaşlarla karşılaştırıldığında en düşük değerlerdir. D3 kumaşı üzerindeki elektrostatik gerilimler çok düşük değerlerde olsa da en yüksek gerilim hammaddesi bakıripeği olan D13 astarına karşı sürtüldüğünde meydana gelmiştir.



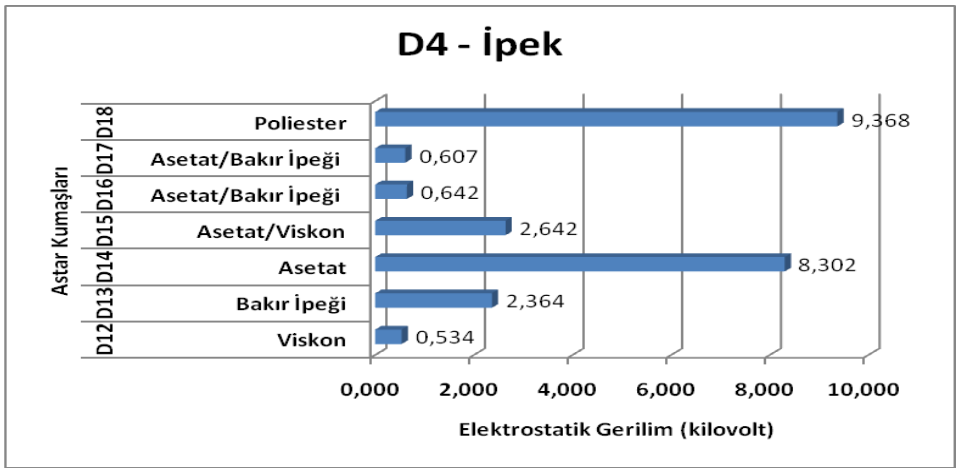
Şekil 3.7 D3 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

D4 kumaşının astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda elde edilen ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.8'de yer almaktadır. Elektrostatik gerilim değerlerine göre, hammaddesi ipek olan D4 kumaşı üzerinde en az statik elektriklenme oluşturan astarlar hammaddesi viskon olan D12 astarı, hammaddesi asetat/bakıripeği karışımı olan D16 ve D17 astarlarıdır. Dikkat çekici bir diğer nokta da D14, D15, D16 ve D17 astarlarının D4 kumaşı üzerinde oluşturduğu elektrostatik gerilim değerleri incelendiğinde hammaddesi asetat olan D14 astarının yarattığı

elektrostatik gerilimin, hammaddesi asetat/bakıripeği olan D16, D17 ve asetat/viskon olan D15 astarlarının oluşturduğu elektrostatik gerilim miktarından çok daha fazla miktarda olmasıdır. Ayrıca D15, D16, D17 astarlarının D4 kumaşı üzerinde oluşturduğu elektrostatik gerilim değerlerine göre D4 kumaşı üzerinde hammaddesi asetat/viskon olan D15 astarı daha fazla statik elektriklenme meydana getirmiştir.

Hammaddesi ipek olan D4 kumaşı üzerinde; hammaddesi viskon olan D12 astarı 0,534 kilovolt elektrostatik gerilim oluştururken, hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15 astarı 2,642 kilovolt, hammaddesi asetat olan D14 astarı ise 8,302 kilovolt elektrostatik gerilim oluşturmuştur.

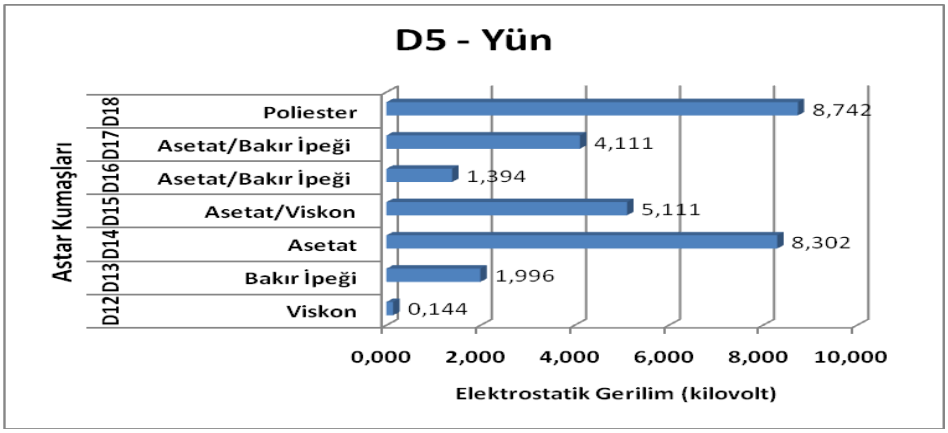
Hammaddesi ipek olan D4 kumaşı ile statik elektriklenme açısından en iyi kombinasyon hammaddesi viskon olan D12 astarı ile yapılabilir.



Şekil 3.8 D4 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

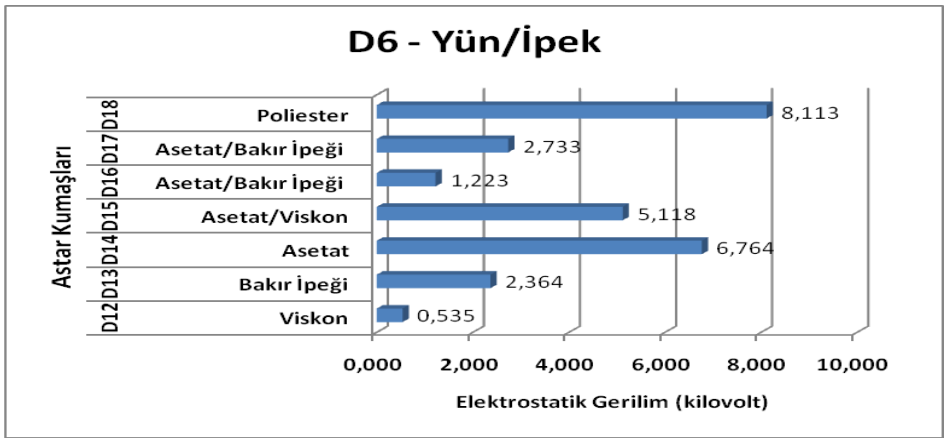
D5 kumaşının astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda elde edilen ortalama elektrostatik gerilim değerlerine ait grafik Şekil 3.9'da yer almaktadır. Hammadesi yün olan D5 kumaşı üzerinde en az statik elektriklenme oluşturan astar, hammaddesi viskon olan D12 astarıdır. D12 kumaşı üzerinde en fazla statik elektriklenmeye neden olan astarlar ise hammaddesi asetat olan D14 astarı ve hammaddesi poliester olan D18 astarıdır. Asetat /bakır ipeği oranı 55/45 olan D17 astarı ile D5 kumaşı üzerinde 4,111 kilovolt elektrostatik gerilim oluşurken, asetat/bakır ipeği oranı 46/54 oln D16 astarı ile 1,394 kilovolt elektrostatik gerilim meydana gelmiştir. Asetatın viskon ya da bakıripeği ile karışım halinde bulunduğu D15, D16 ve D17 astarlarının

hammaddesi yün olan D5 kumaşı üzerinde oluşturduğu elektrostatik gerilim miktarları hammaddesi asetat olan D14 kumaşının oluşturduğundan daha azdır.



Şekil 3.9 D5 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

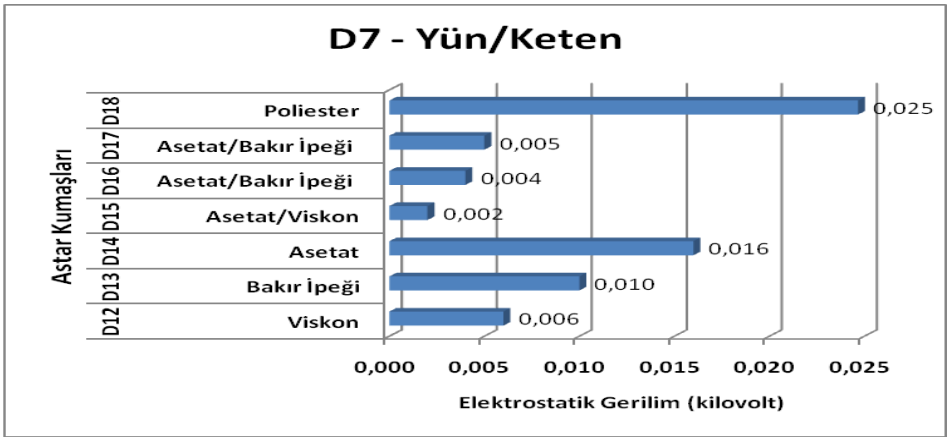
Astar kumaşlarına sürtülmesi sonucunda hammaddesi yün/ipek karışımı olan D6 kumaşı üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerlerinin ortalamalarına ait grafik Şekil 3.10'da görülmektedir. Hammaddesi yün /ipek karışımı olan D6 kumaşı üzerinde en az statik elektriklenme oluşturan hammaddesi viskon olan D12 astarıdır. D6 kumaşı üzerinde an fazla elektrostatik gerilim yaratan astar ise hammaddesi poliester olan D18 astarıdır. Asetatın bakıriperği ile karışım hainde bulunduğu astarların D6 kumaşı üzerinde meydana getirdiği elektrostatik gerilim miktarı, hammaddesi asetat olan astarın meydana getirdiğinden çok daha düşüktür.



Şekil 3.10 D6 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

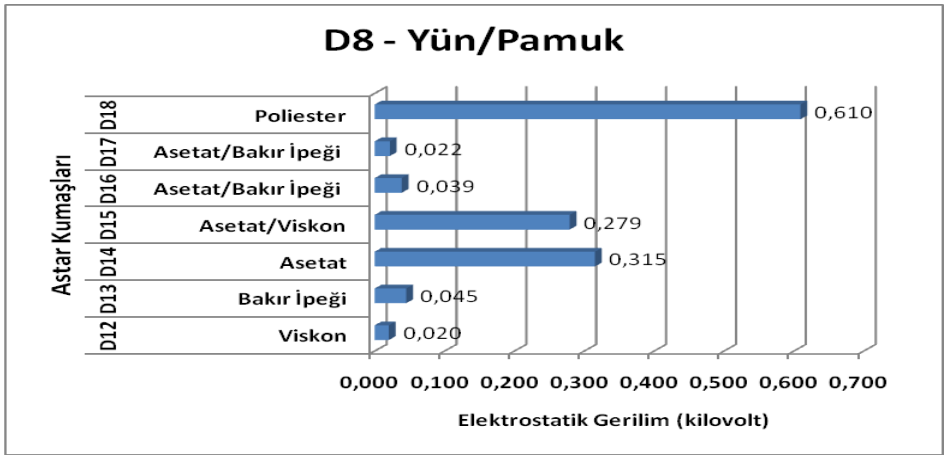
Hammaddesi yün/keten karışımı olan D7 kumaşı üzerinde astarların oluşturduğu elektrostatik gerilim değerlerinin ortalamalarına ait grafik Şekil 3.11'de görülmektedir. D7 kumaşında oluşan elektrostatik gerilim değerleri tüm astarlarla

kombinasyonunda düşüktür; en yüksek elektrostatik gerilim değeri hammaddesi poliester olan D18 astarında oluşmuştur.



Şekil 3.11 D7 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

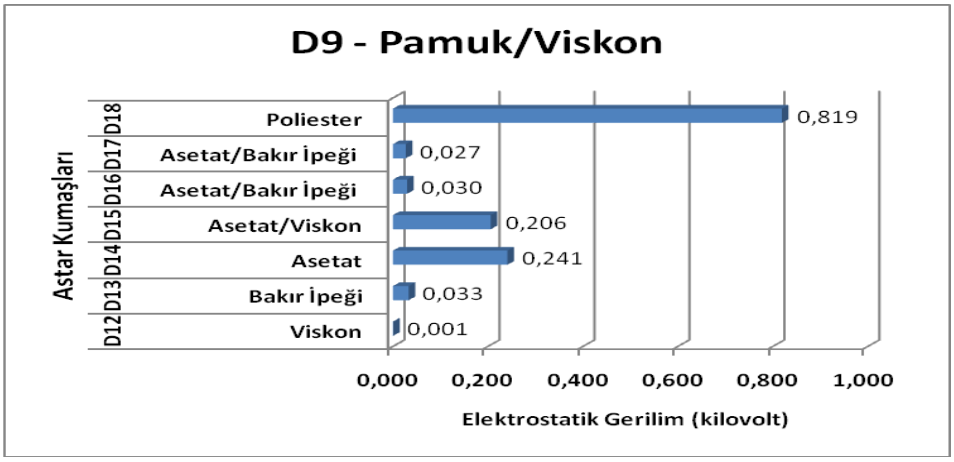
Astarlık kumaşların hammaddesi yün/pamuk karışımı olan D8 kumaşına sürtülmesi sonucunda D8 kumaşı üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerleri ortalamalarına ait grafik Şekil 3.12'de yer almaktadır. D8 kumaşı üzerinde en fazla statik elektriklenmeye neden olan astar hammaddesi poliester olan D18 astarıdır. D8 kumaşı üzerinde en az statik elektriklenme etkisi yaratan astarlar ise hammaddesi asetat/bakıripeği karışımı olan D16 ve D17 astarları, hammaddesi viskon olan D12 astarı ve hammaddesi bakıripeği olan D13 astarıdır.



Şekil 3.12 D8 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

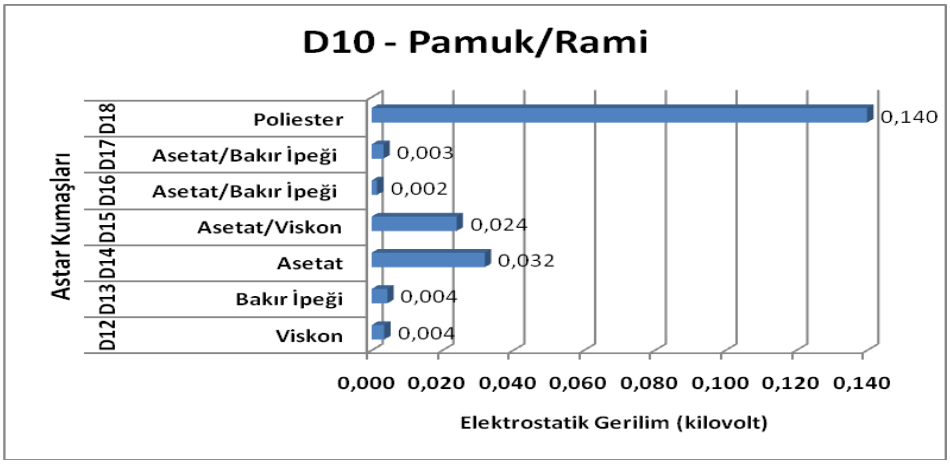
Hammaddesi pamuk/viskon karışımı olan D9 kumaşının astar kumaşları ile sürtünme ile elektriklenmesi sonucunda oluşan elektrostatik gerilim değerlerinin ortalamalarına ait grafik Şekil 3.13'de görülmektedir. D9 kumaşı üzerinde en fazla

statik elektriklenmeye neden olan astar hammaddesi poliester olan D18 astarıdır. D9 kumaşı üzerinde en statik elektriklenmeye neden olan astarlar ise hammaddesi viskon olan D12 astarı, hammaddesi bakır ipeği olan D13 astarı ve hammaddesi asetat/bakıripeği olan D16 ve D17 astarlarıdır. D9 kumaşı üzerinde; hammaddesi viskon olan D12 astarı 0,001 kilovolt elektrostatik gerilim meydana getirirken, hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15 astarı 0,206 kilovolt elektrostatik gerilim meydana getirmiştir.



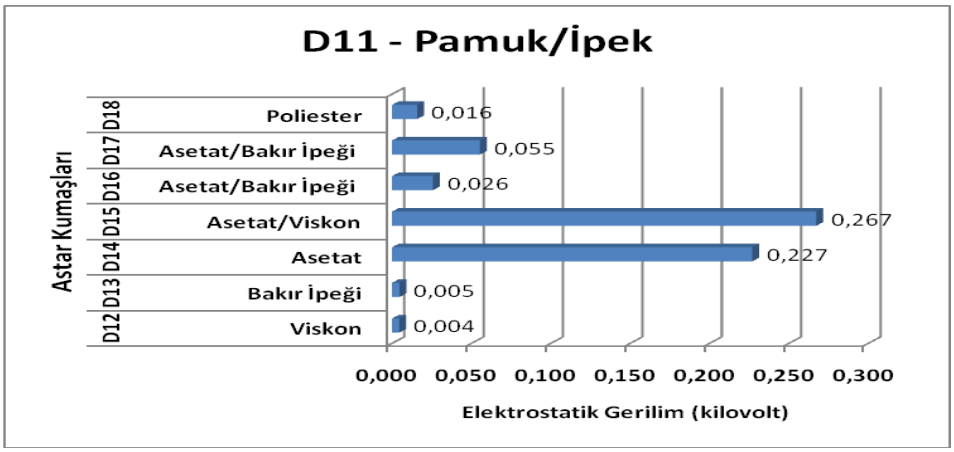
Şekil 3.13 D9 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

Astar - kumaş kombinasyonu testleri sonucunda hammaddesi pamuk/rami olan D10 kumaşı üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerlerinin ortalamalarına ait grafik Şekil 3.14'de görülmektedir. D10 kumaşı üzerinde çok yüksek elektrostatik gerilim değerleri meydana gelmemiş olsa da en fazla statik elektriklenmeye neden olan astar hammaddesi poliester olan D18 astarıdır.



Şekil 3.14 D10 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

D11 kumaşı üzerinde astar – kumaş kombinasyonu testleri sonucunda oluşan elektrostatik gerilim değerlerinin ortalamalarına ait grafik Şekil 3.15'de yer almaktadır. Hammaddesi pamuk/ipek karışımı olan D11 kumaşı üzerinde diğerlerine göre fazla statik elektriklenmeye neden olan astarlar hammaddesi asetat olan D14 astarı ve hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15 astarıdır. Dikkat çeken diğer bir nokta da bir çok kumaş üzerinde en çok elektrostatik gerilim oluşturan hammaddesi poliester olan D18 astarının D11 kumaşında 0,016 kilovolt elektrostatik gerilim oluşturmasıdır. Hammaddesi pamuk/ipek karışımı olan D11 kumşı için statik elektriklenme açısından en iyi kombinasyonu oluşturan astarlar, hammaddesi viskon olan D12 astarı ve hammaddesi bakıripeği olan D13 astarıdır.



Şekil 3.15 D11 kumaşına ait astar-kumaş kombinasyonu elektrostatik gerilim sonuçları

3.6 Ticari Olarak Kullanılan Çeşitli Giysilik Kumaşların Triboelektrik Dizinleri

Triboelektrik dizinde maddeler elektron verme eğilimlerine göre sıralanmaktadırlar. Eğer bir madde diğer bir madde ile sürtünmesi sırasında elektron verme eğilimindeyse triboelektrik dizinde daha pozitif bir yere sahip olmakta iken, elektron alma eğlimindeyse daha negatif bir yere sahip olmaktadır. Çalışma kapsamında ticari olarak kullanılan çeşitli giysilik kumaşların statik elektriklenme eğilimleri belirlenirken sürtme materyali olarak yün keçe kullanılmış, ayrıca astar – kumaş kombinasyonları testleri sırasında ise astarlık kumaşlar sürtme materyali olarak kullanılmıştır. Sürtme materyali olarak yün keçe kullanıldığında elde edilen tirboelektrik dizin Şekil 3.16'da yer almaktadır. Astar – kumaş kombinasyonu testleri ile elde edilen dizinler ise Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 'de verilmiştir. Tribolektrik dizinler oluşturulurken; testler sırasında kumaşların sürtme materyaline

karşı hangi tür statik elektrik yükü ile yüklendiği belirledikten sonra kumaşların sürtme materyaline göre triboelektrik dizindeki sıralaması elde edilen elektrostatik gerilim değerlerine göre yapılmıştır. Sürtme materyaline göre bir kumaşın triboelektrik dizindeki konumu ne kadar uzak ise aralarındaki statik elektriklenme etkisi o denli fazla olmaktadır.

Kumaşların yün keçe ile sürtünmesiyle elektriklenmesi sırasında hammaddesi asetat/viskon karışımı olan D15 kumaşı, hammaddesi asetat/bakıripeği olan D16 ve D17 astarları pozitif elektrik yükü ile yüklenirken diğer kumaşlar negatif elektrik yükü ile yüklenmiştir. Tablo 3.27'de ise astar – kumaş kombinasyonu testleri sırasında kumaşların astarlara sürtülmesi sonucunda kumaşların hangi tür statik elektrik yükü ile yüklendikleri görülmektedir.

Hammaddesi poliester olan D1 kumaşı tüm astarlara karşı negatif statik elektrik yükü ile yüklenirken, hammaddesi keten olan D3 kumaşı ve hammaddesi yün/keten karışımı olan D7 kumaşı ise tüm astarlara karşı pozitif statik elektrik yükü ile yüklenmiştir.

Astar – kumaş kombinasyonlarına göre elde edilen tribolektrik dizinlerin tümünde poliester en negatif konumda yer almaktadır. Beş tane dizinde ise en pozitif konumda ipek yer almaktadır.

Tablo 3.27 Astar-kumaş kombinasyonu testleri sırasında kumaşların yüklendiği statik yük çeşitleri

Astar	**Kumaş No**										
No	**D1**	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**D8**	**D9**	**D10**	**D11**
D12	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
D13	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
D14	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
D15	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
D16	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)
D17	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
D18	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Yün keçe sürtme materyali olarak kullanıdığında elde edilen triboelektrik dizine göre yün ile arasında en fazla statik elektriklenme etkisi meydan getiren kumaşlar hammaddesi poliester olan kumaşlardır. Hammaddesi pamuk olan D2 kumaşı triboelektrik dizinde hammaddesi pamuk/ipek karışımı, yün/pamuk karışımı, pamuk/viskon karışımı ve pamuk/rami karışımı olan kumşlara göre daha negatif bir

konumda yer almıştır. Hammaddesi asetat olan D14 kumaşı negatif konumda yer alırken, hammaddesi asetat/viskon olan ve hammaddesi asetat/bakıripeği karışımı olan kumaşlar ise yün keçeye göre pozitif konumda yer almışlardır.

Kumaş No	Hammadde
D15	Asetat/Viskon
D17	Asetat/Bakıripeği
D16	Asetat/Bakıripeği
Yün Keçe	Yün
D13	Bakıripeği
D12	Viskon
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D11	Pamuk/İpek
D8	Yün/Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D10	Pamuk/Rami
D2	Pamuk
D4	İpek
D6	Yün/İpek
D14	Asetat
D18	Poliester
D1	Poliester

(+) ↑ ↓ (-)

Şekil 3.16 Sürtme materyali yün keçe olduğunda elde edilen triboelektrik dizin

Kumaş No	Hammadde
D4	İpek
D8	Yün/Pamuk
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D11	Pamuk/İpek
D10	Pamuk/Rami
D2	Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D12	Viskon
D5	Yün
D6	Yün/İpek
D1	Poliester

(+) ↑ ↓ (-)

(a)

Kumaş No	Hammadde
D4	İpek
D6	Yün/İpek
D5	Yün
D8	Yün/Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D2	Pamuk
D11	Pamuk/İpek
D10	Pamuk/Rami
D13	Bakıripeği
D1	Poliester

(+) ↑ ↓ (-)

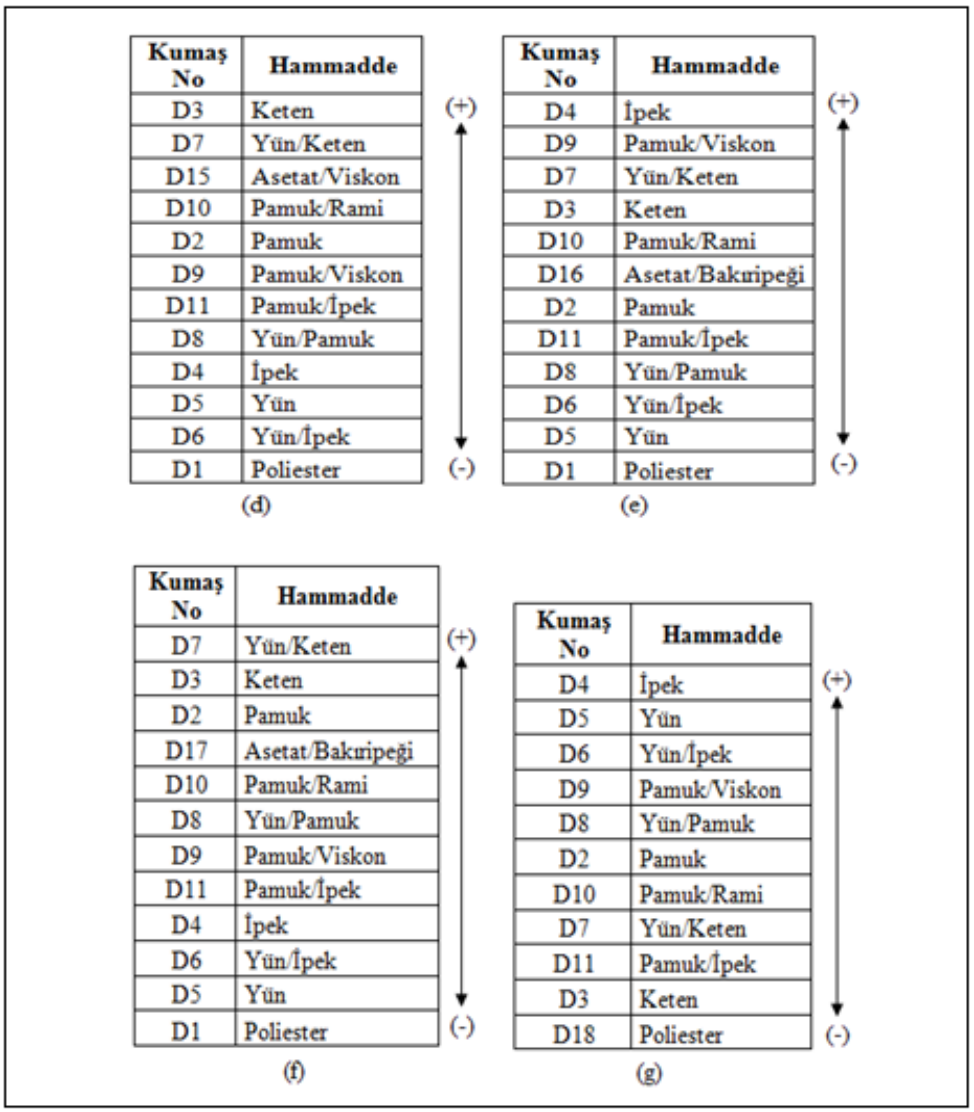
(b)

Kumaş No	Hammadde
D4	İpek
D5	Yün
D6	Yün/İpek
D8	Yün/Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D11	Pamuk/İpek
D2	Pamuk
D10	Pamuk/Rami
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D14	Asetat
D1	Poliester

(+) ↑ ↓ (-)

(c)

Şekil 3.17 Astar-kumaş kombinasyonu testleri sırasında elde edilen triboelektrik dizinler-1
(a) Sürtme materyali D12 (viskon) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin
(b) Sürtme materyali D13 (bakıripeği) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin
(c) Sürtme materyali D14 (asetat) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin



Kumaş No	Hammadde
D3	Keten
D7	Yün/Keten
D15	Asetat/Viskon
D10	Pamuk/Rami
D2	Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D11	Pamuk/İpek
D8	Yün/Pamuk
D4	İpek
D5	Yün
D6	Yün/İpek
D1	Poliester

(+) (-)

(d)

Kumaş No	Hammadde
D4	İpek
D9	Pamuk/Viskon
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D10	Pamuk/Rami
D16	Asetat/Bakırpeği
D2	Pamuk
D11	Pamuk/İpek
D8	Yün/Pamuk
D6	Yün/İpek
D5	Yün
D1	Poliester

(+) (-)

(e)

Kumaş No	Hammadde
D7	Yün/Keten
D3	Keten
D2	Pamuk
D17	Asetat/Bakırpeği
D10	Pamuk/Rami
D8	Yün/Pamuk
D9	Pamuk/Viskon
D11	Pamuk/İpek
D4	İpek
D6	Yün/İpek
D5	Yün
D1	Poliester

(+) (-)

(f)

Kumaş No	Hammadde
D4	İpek
D5	Yün
D6	Yün/İpek
D9	Pamuk/Viskon
D8	Yün/Pamuk
D2	Pamuk
D10	Pamuk/Rami
D7	Yün/Keten
D11	Pamuk/İpek
D3	Keten
D18	Poliester

(+) (-)

(g)

Şekil 3.18 Astar-kumaş kombinasyonu testleri sırasında elde edilen triboelektrik dizinler-2
(d) Sürtme materyali D15 (asetat/viskon) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin
(e) Sürtme materyali D16 (asetat/bakırpeği; 46/54) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin
(f) Sürtme materyali D17 (asetat/bakırpeği; 55/45) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin
(g) Sürtme materyali D18 (poliester) astarı iken elde edilen triboelektrik dizin

3.7 Astar Kumaşlarının Aşınma Direnci Ölçüm Sonuçları

Astarlı giysilerin kullanımı sırasında çeşitli fiziksel etkilere maruz kalan astarın kullanım performansı açısından aşınma dayanımı önemli bir etkendir. Sürtünme ile elektriklenme deneyleri sırasında hammaddesi bakırpeği olan D13 astar kumaşı ile hammaddesi keten olan D3 kumaşı arasındaki astar-kumaş kombinasyonları deneyleri sırasında astar üzerinde aşınma gözlendiğinden, uygun astar-kumaş

kombinasyonlarının belirlenebilmesi için sadece statik elektriklenme eğilimlerinin dikkate alınmasının yeterli olmayacağı kullanım performansını önemli ölçüde etkileyen aşınma özelliğinin de dikkate alınmasının uygun olacağı düşünülmüş ve astar kumaşlarının sürtme ile elektriklenme etkilerinin yanı sıra aşınmaya karşı dayanımları da test edilmiştir. Astar kumaşlarının aşınma direnci ölçüm sonuçları Tablo 3.28 'de yer almaktadır.

Tablo 3.28 Astar kumaşlarının aşınma direnci ölçüm sonuçları

Astar No	**Örnek No**	**Aşınma testi öncesi ağırlık (g)**	**5000 tur sonrası ağırlık (g)**	**Ağrılık Kaybı (%)**	**Kopuşun gerçekleştiği tur**
D12	1	0,1254	0,1225	2,31	-
D12	2	0,1247	0,1229	1,44	-
D12	3	0,1290	0,1262	2,17	-
D13	1	0,0906	0,0887	2,10	-
D13	2	0,0901	0,0889	1,33	-
D13	3	0,0902	0,0886	1,77	-
D14	1	0,0602	0,0602	0,00	-
D14	2	0,0608	0,0608	0,00	-
D14	3	0,0604	0,0604	0,00	-
D15	1	0,0937	0,0794*	15,26	4384. tur
D15	2	0,0957	0,0870	9,09	-
D15	3	0,0968	0,0895	7,54	-
D16	1	0,0904	0,0829*	8,30	4016. tur
D16	2	0,0897	0,0772*	13,94	4017. tur
D16	3	0,0897	0,0696*	22,41	3808. tur
D17	1	0,0858	0,0835*	2,68	4488. tur
D17	2	0,0869	0,0830*	4,49	4488. tur
D17	3	0,0864	0,0808*	6,48	4488. tur
D18	1	0,0871	0,0871	0,00	-
D18	2	0,0865	0,0865	0,00	-
D18	3	0,0868	0,0868	0,00	-

*Örnek kopuşun belirlendiği turda tartılmıştır.

Çalışmada yer alan kumaşlar üzerinde en fazla statik elektriklenme etkisi oluşturmalarına rağmen, aşınma dayanımı açsından en iyi sonuçlar hammaddesi asetat olan D14 astarında ve hammaddesi poliester olan D18 astarında elde edilmiştir. Astar-kumaş kombinasyonu testlerinde en az statik elektriklenme etkisi oluşturan astarlar arasında yer alan hammaddesi asetat/bakıripeği olan D16 ve D17 astarlarının ise aşınmaya karşı dayanımı diğer astarlara göre daha düşüktür.

Çalışmada yer alan astarlar arasında hem aşınma dayanımı açısından hem de statik elektriklenme özellikleri açısından tercih edilebilir astarlar ise hammaddesi viskon olan D12 astarı ve hammaddesi bakıripeği olan D13 astarı olarak belirlenmiştir

BÖLÜM DÖRT
SONUÇ VE ÖNERİLER

Giysilerimiz ve vücudumuz arasındaki sürtünme sebebiyle vücudumuzda oluşan statik elektriklenme nedeniyle hem fizyolojik etkiler, hem de kendimizi konforsuz hissettirebilecek giysilerimizin vücudumuza yapışması gibi etkiler meydana gelmektedir. Giysilerimiz dışında fiziksel etkileşim içinde bulunduğumuz diğer tekstil yüzeyleri de vücudumuz üzerinde statik elektriklenmeye neden olmaktadır. Örneğin halı üzerinde yürürken vücudumuz statik elektrik yükü ile yüklenirken, otomobil koltuğunda araç hareket halinde iken araç üzerinde biriken statik yükler de döşeme üzerinden temas ile elektriklenme ile vücudumuza aktarılmaktadır. İnsan vücudunun bazı materyallerle beraber yer aldığı triboelektrik dizinde pozitif uçta yer alması birçok tekstil materyali ile sürtünme ile elektriklenmesi sonucunda elektron verme eğiliminde olarak pozitif elektrostatik yük ile yüklendiğini göstermektedir. Osei-Ntiri (1992)'nin petrokimya ve yakıt endüstrisinde iş kıyafeti olarak kullanılan koruyucu giysilerin kullanımı sırasında insan vücudu üzerinde meydana gelebilecek elektrostatik gerilim değerlerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada incelenen giysi sistemlerinin, iki giysi sistemi haricinde, deneklerin vücutlarının pozitif statik elektrik yükü ile yüklenmesine neden olduğu belirlenmiştir. Kökpınar (2000) ise yaptığı araştırmada pozitif elektrostatik yüklerinin kişi üzerinde stres yaratıcı olumsuz bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu bulgular dikkate alınarak giysilerimizde vücudumuz üzerinde daha az statik elektriklenme etkisi yaratacak kumaşların tercih edilmesi günlük yaşantımızı olumlu yönde etkileyecektir.

Hem vücudumuzda hem de giysilerimiz üzerinde biriken statik elektriğin deşarjı ile kullandığımız hassas elektronik devrelere sahip elektronik cihazlar bozulabilmekte ya da kullanım ömürleri kısalmaktadır. Holdstock (1997) sürtünme ile elektriklenen poliester kumaştan hafıza kartları üzerine gerçekleşen elektrostatik deşarjın bazı hafıza kartlarında tamir edilemeyecek hasarlara neden olduğunu ve hafıza kartlarının kullanım ömrünün azaldığını belirlemiştir.

Yüksek gerilim değerleri oluşturacak şekilde birikmiş elektrostatik yüklerin ani deşarjı sırasında ciddi kazalar meydana gelebilmektedir. Özellikle yanıcı gazların

bulunduğu ameliyathane, petrol istasyonu gibi ortamlarda kişilerin vücudunda ya da giysileri üzerinde biriken statik yüklerin deşarjı sırasında meydana gelebilecek kıvılcımlar patlamalara sebep olabilir. Anderson ve arkaşdaşları (2008) insan vücudunda oluşan elektrostatik yüklerin meydana getirebileceği elektrostatik deşarj enerjisinin sıradan hidrokarbon yakıtların 0,2 ve 0,6 milijoule arasında değişen minimum tutuşma enerjilerinden fazla olduğunu belirtmiştir. Holdstock ve Wilson (1996) ise bir hastane operatöründen veya metal bir hastane yatağının çerçevesinden kaynaklanabilecek elektrostatik deşarj enerjisinin hastanede kullanılabilecek yanıcı gazların minimum tutuşma enerjisinden fazla olduğunu belirlemiştir.

Bu çalışma kapsamında ise öncelikle dokuma kumaşlar üzerinde sürtünme ile meydana gelen statik elektriklenmenin belirlenebilmesi amacıyla önceki çalışmalarda kullanılan standart ölçüm yöntemlerinden yararlanılarak kumaş üzerinde sürtünme ile elektriklenme oluşturacak bir ölçüm düzeneği üretilmiştir. Elektrostatik gerilim değerleri ölçüm düzeneğinde kumaş üzerinde sürtünme ile elektriklenme sonucunda oluşan elektriksel alan şiddeti üzerinden elektrostatik gerilim değeri ölçebilen bir elektrostatik alan ölçer ile belirlenmiştir. Ölçüm düzeneği ile elde edilen sonuçların tekrarlanabilir sonuçlar olduğu ve kumaş tipleri arasındaki farklılığın belirlenebildiği yapılan varyans analizleri ile ortaya konulmuştur.

Sistematik olarak üretilmiş poliester dokuma kumaşların yapısal parametrelerinin kumaşların statik elektriklenmesine etkisi A ve B gurubunda yer alan kumaş tiplerinin sürtünme ile elektriklenme ile oluşan elektrostatik gerilim değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

A grubu poliester kumaşlarda 8 saniye sürtme zamanında aynı atkı ipliği numarasında atkı sıklığı değerleri biribirine en yakın olan A3 ve A7 kumaşları için bezayağı örgüye sahip A3 kumaşında 3/1 dimi örgüye sahip A7 kumaşına göre daha fazla elektrostatik gerilim meydana gelmiştir. 24 saniye sürtme zamanında her ne kadar istatistiksel olarak atkı sıklığının elektrostatik gerilim miktarlarına etkisi önemli olsa da ortalama değerleri açısından atkı sıklığı artıkça elektrostatik gerilim değerleri düzenli olarak artma ya da azalma eğilimi göstermemiştir.

B grubu poliester kumaşlarda ise örgü tipinin elektrostatik gerilim sonuçlarına etkisinin üç sürtme zamanı için de istatistiksel açıdan önemsiz olduğu görülmüştür. Atkı sıklığının elektrostatik gerilim sonuçlarına etkisi sadece 8 saniye sürtme zamanında istatistiksel olarak önemli elde edilmiştir. Ancak ortalama elektrostatik gerilim değerlerine göre atkı sıklığı değiştiğinde elektrostatik gerilim değerlerinde düzenli olarak artma ya da azalma meydana geldiğini sonucuna varmak münkün değildir. Atkı ipliği numarasının elektrostatik gerilim değerlerine etkisi B grubu poliester kumaşlarında üç sürtme zamanı için de istatisatiksel olarak önemli bulunmuş olsa da ortalama değerlerine göre atkı ipliği numarası değiştiğinde elektrostatik gerilim miktarlarında düzenli olarak artma ya da azalma meydana geldiği sonucuna varılamamıştır.

Poliester kumaşlarda elektrostatik gerilim değerlerine sürtme zamanının etkisi de araştırılmış ve A grubunda yer alan poliester kumaşların üç farklı sürtme zamanında ölçülen elektrostatik gerilim değerlerine göre iki kumaş (A3 ve A5 kumaşları) dışında bu grupta yer alan kumaşlar için sürtme zamanı arttıkça elektrostatik gerilim miktarının da artış gösterdiği sonucu elde edilmiştir.

Sistematik olarak üretilmiş pamuklu dokuma kumaşların(C grubunda yer alan kumaşların) elektrostatik gerilim miktarları belirlenerek yapısal parametrelerin pamuklu dokuma kumaşlarda statik elektriklenmeye etkisi araştırılmıştır. 2/1 dimi örgüye sahip C4, C5, C6 ve 3/1 dimi örgüye sahip C7, C8, C9 kumaşları kendi aralarında değerlendirildiğinde sıklık artıkça elektrostatik gerilimin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca 3/1 dimi örgüye sahip kumaşlarda elektrostatik gerilimin bezayağı ve 2/1 dimi örgüye sahip kumaşlara göre daha az meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Faklı hammaddelere sahip giysilik kumaşların sürtünme ile statik elektriklenme özelliklerini incelemek amacıyla giysi üretiminde kullanılan ticari giysilik ve astarlık kumaşlardan oluşturulan D grubunda yer alan on sekiz kumaşın 48 saniye sürtme zamanında oluşan elektrostatik gerilim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre hammaddesi selüloz kaynaklı liflerden oluşan kumaşların statik elektriklenme eğilimleri daha düşüktür. En fazla statik elektriklenme etkisi hammaddesi poliester ve asetat olan kumaşlarda meydana gelmiştir. Ayrıca hammaddesi yün, ipek ve

yün/ipek karışımı olan kumaşlarda elektrostatik gerilim hammaddesi poliester ve asetat olan kumaşlara göre daha az olsa da elektrostatik gerilim değerlerinin incelenen diğer kumaşlara göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Asetatın viskon veya bakıripeği ile karışım halinde bulunduğu kumaşlarda hammaddesi asetat olan kumaşa göre elektrostatik gerilim miktarı daha düşük elde edilmiştir. Aynı doğrultuda hammaddesi yün olan kumaşta elektrostatik gerilim miktarı 2.560 kilovolt olarak ölçülürken hammaddesi yün/pamuk karışımı olan kumaşta 0.063 kilovolt, hammaddesi yün/keten karışımı olan kumaşta 0,004 kilovolt elektrostatik gerilim oluşmuştur. Hammaddesi ipek olan kumaşta sürtünme ile elektriklenme testi sonucunda 0,806 kilovolt elektrostatik gerilim meydana gelirken, hammaddesi pamuk/ipek karışımı olan kumaşta oluşan elektrostatik gerilimin 0,009 kilovolt olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre statik elektriklenme eğilimi fazla olan liflerin selüloz esaslı liflerden biri ile karışım halinde bulunduğu kumaşlarda sürtünme ile statik elektriklenme eğiliminin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

Grant (1998) termal koruyucu giysilerin statik elektriklenme eğilimlerini belirlerken sürtme materyali olarak dış giysi olan parka kumaşını, test edilecek kumaşlar olarak da iç giysi olan tulum kumaşına sürtünmesiyle kullanım sırasında parka ile parka içine giyilen tulumun birbirine sürtünmesini simule etmiştir. Bu çalışma kapsamında ise astar kumaşlarının giysilik kumaşlara sürtünmesi ile kumaşlar üzerinde meydana gelen elektrostatik gerilim değerleri belirlenirken günlük hayatımızda astarlı giysilerimizin kullanımı sırasında astarın kumaşa sürtünmesi simule edilmiştir. Statik elektriklenmenin giysilerin kullanımı sırasında kullanıcıyı konforsuz hissettiren, giysi kumaşının ya da var ise astarının kişinin vücuduna yapışması, astarın kumaşa yapışarak giyside kırışmalara neden olması durumları göz önünde bulundurularak test edilen astar- kumaş kombinasyonlarında kumaşlar üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerleri incelendiğinde genellikle test edilen kumaşlar üzerinde en fazla statik elektriklenme oluşturan astarlık kumaşların hammaddesi poliester olan kumaşlar(D14 ile D18) olduğu belirlenmiştir. En fazla statik elektriklenme eğilimi gösteren kumaşların, astar – kumaş kombinasyonu testleri sonucunda üzerlerinde en az elektrostatik gerilimi oluşturan astarlar hammaddesi poliester olan kumaş için hammaddesi asetat olan D14 astarı,

hammaddesi ipek, yün ve yün/ipek karışımı olan kumaşlar için hammaddesi viskon olan D12 astarıdır.

Zhao (2003)'nun çalışmasında yer alan kumaşlardan sürtme materyali teflon iken oluşturduğu triboelektrik dizinde yün, pamuk, viskon, keten ve ipek kumaşlar, poliester kumaşa göre daha pozitif konumda yer almıştır. Bu çalışmada sürtme materyali yün iken elde edilen triboelektrik dizinde de hammaddesi yün, pamuk, viskon, keten ve ipek olan kumaşlar hammaddesi poliester olan kumaşa göre daha pozitif konumda yer almışlardır. Bu çalışmada elde edilen triboelektrik dizinde karışım halinde bulunan kumaşların da yer alması daha önceki çalışmalarda elde edilen triboelektrik dizinlere göre farklılık yaratmaktadır. Sürtme materyali olarak yün kullanıldığında hammaddesi asetat olan kumaş negatif konumda yer alırken hammaddesi asetat/viskon karışımı ve asetat/bakıripeği olan kumaşlar pozitif uçta yer almışlardır. Hammaddesi pamuk/ipek, yün/pamuk, pamuk/viskon, ve pamuk/rami olan kumaşlar hammaddesi pamuk olan kumaşa göre daha pozitif konumda yer almaktadır.

Çalışma kapsamında elektrostatik özellikleri incelenen astarlık kumaşların aşınma dayanımı sonuçlarına göre astarlar arasında en fazla statik elektriklenme eğilimi gösteren hammaddesi poliester ve hammaddesi asetat olan kumaşların aşınmaya karşı en iyi dayanımı gösterdikleri belirlenmiştir. Astar arasında hem kumaşlar üzerinde genelde en az statik elektriklenme oluşturan hem de diğer astarlara göre aşınmaya karşı dayanımı daha iyi olan astarlar hammaddesi viskon ve bakıripeği olan astarlardır.

Morton (1997) tarafından belirtilen farklı hammaddelere sahip ipliklerin elektriksel direnç değerlerine göre hammaddesi poliester, asetat, ipek ve yün olan ipliklerin elektriksel direnç değerleri hammaddesi pamuk, viskon ve keten olan ipliklerin elektriksel direnç değerlerinden daha yüksektir. Bu çalışmada sürtünme ile elektriklenme sonucunda en çok elektrostatik gerilim oluşturan kumaşlar ise sırası ile hammaddesi poliester, asetat, yün ve ipek olan kumaşlardır. Dolayısı ile elektriksel direnci yüksek olan ipliklerden üretilen kumaşlar daha fazla statik elektriklenme eğilimi gösterecektir. Statik elektriklenmeyi giysi konforu açısından sadece kumaşların elektriksel direnç değerleri ile değerlendirmek yeterli değildir. Bu

çalışmada ise kullanım sırasında sürtünmenin statik elektriklenme açısından önemli bir etken olması sebebiyle giysilik kumaşların sürtünme ile elektriklenme sonucunda ortaya çıkan elektrostatik özellikleri belirlenmiştir. Sürtünme ile üzerinde en fazla elektrostatik gerilim oluşan kumaşların insan vücudu üzerinde de en fazla elektrostatik etkiyi oluşturacağı düşünülmektedir. Ancak daha gerçekçi olması açısından giysilik kumaşların sürtünme ile insan vücudu üzerinde meydana getirebileceği elektrostatik etkinin ve hissettirdiği konforsuzluğun giyim denemeleri ile araştırılması önerilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür incelemeleri ve deneysel çalışmaların ışığında ilgili alanlarda yapılabilecek ve pratik açıdan yararlı sonuçlar verebilecek birkaç araştırma konusu önerilebileceği düşünülmüştür. Daha sonraki çalışmalarda giysilerin yıkanması sırasında kullanılan ev tipi çamaşır yumuşatıcılarının giysilerin kullanımı sırasındaki statik elektriklenme özelliklerine etkisi incelenebilir. Giysi astarlarında aşınmaya karşı dayanımları açısından çoğunlukla tercih edilen poliester ve asetat astarlık kumaşlarında kullanılan antistatik aprelerin kullanımı sırasındaki performansının ne kadar süre kalıcı olduğu araştırılabilir. Grant (1998) termal koruyucu kıyafetlerde kullanılan kumaşlar üzerinde sürtünme ile meydana gelen elektrostatik gerilim değerleri ile aynı kumaşların insanlarla yapılan deneylerinden elde edilen sonuçlar arasında korelasyon bulunduğunu belirtmiştir. Bu açıdan statik elektriklenme eğilimleri belirlenen kumaşlardan üretilmiş giysilerin benzer bir prosedür uygulanarak kişiler üzerinde meydana getirdiği statik elektriklenme etki belirlenerek sonuçlar arasındaki ilişkiler araştırılabilir. Shlemer ve arkadaşları (2004) sürtme materyali olarak yünlü pantolon kumaşını kullanarak antistatik terbiye işlemi görmüş poliester döşemelik kumaş ile antistatik terbiye görmemiş poliester döşemelik kumaş üzerinde oluşan elektrostatik gerilim değerlerini karşılaştırmıştır. Döşemelik kumaşlar ile giysilik kumaşlar arasındaki sürtünme ile elektriklenme etkisini giysi konforu açısından değerlendirmek için sürtme materyali olarak döşemelik kumaşlar kullanılarak giysilik kumaşlar üzerinde oluşan statik elektriklenme düzeyleri değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

AATCC Committee. (2006). Overview of Liquid Fabric Softeners Used In Home Laundering. *AATCC Technical Manual 2010.*

American Society for Testing and Materials, (1996). ASTM D1777 *Standard Test Method for Thickness of Textile Materials.*

Adamhasan, A.S. (2008). *Polyester/Polianilin, Pamuk Polianilin Kompozit Kumaşların Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi* Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Andersson B., Fast, L., Holdstock P. & Pirici D. (2008). Charging of a Person Exiting a Car Seat. *Journal of Physics: Conference Series, 142* (1), 1-6.

Asanovica, K.A., Mihajlidia, T.A., Milosavljevica S.V., Cerovicb, D.D. & Dojcilovic J.R. (2007). Investigation of the Electrical Behavior of Some Textile Materials. *Journal f Electrostatics, 65* (3), 162-167.

Balcı Kılınç, F. S., (2004). *A Study of Nature of Fabric Comfort: Design-OrientedFabric Comfort Model,* Auburn University Doctor of Philisophy Thesis. Auburn, Alabama.

Ballou, J.W. (1954). Static Electricity in Textiles. *Textile Research Journal, 24* (2), 146-155.

British Standards Institute, (1995). BS EN 7506-1 *Methods For Measurement İn Electrostatics. Guide To Basic Electrostatics.*

Cheng, K. B., Ueng, T. H. & Dixon, G. (2001). Electrostatic Discharge Properties of Stainless Steel/Polyester Woven Fabrics. *Textile Research Journal, 71* (8), 732-738.

Chubb, J. (2002). New Approaches For Electrostatic Testing of Materials. *Journal of Electrostatics 54*, 233–244.

Chubb, J.N. (2004). Comments on Methods For Charge Decay Measurement. *Journal of Electrostatics 62* (1), 73–80.

Elektronik Cerrahpaşa Tıp Dergisi, (2000). *İnsan Üzerinde Biriktirilen Elektrostatik Yüklerin Fizyolojik ve Psikolojik Etkileri*. 10 Mayıs 2011, http://www.ctf.edu.tr/dergi/Online/2000v31/s4/004a9.htm

Grant, T. L. (1998). *Simulation of Garment Layer Seperation on the Human Body To Determine the Electrostatic Propensity of thermal Protective Fabric Systems At Low Humidities*. University of Alberta Master of Science Thesis, Edmenton.

Gonzalez, J. A., Rizvi, S. A., Crown, E. M., & Smy, P. R. (1997). A Modified Version of Proposed Astm F23.20.05: Correlation With Human Body Experiments on Static Propensity. *Performance of Protective Clothing,* 6, 47-51.

Guo, J. (2003). *The Effects of Household Fabrıc Softeners on the thermal Comfort and Flammability of Cotton and Polyester Fabrics*. Virginia Polytechnic Institute and State University Master of Science Thesis, Virginia.

Güner, Z. (1979). *Fizik I-II*. İstanbul: Beta Basım.

Holdstock, P. (1997). The Damaging Effects of Electrostatic Discharges From Textile Surfaces. *Journal of Electrostatic, 40* (41), 529-534.

Holdstock, P. & Wilson, N. (1996) *The Effect of Statıc Charge Generated on Hospıtal Beddıng.* Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, Orlando**.**

Kelly, M.A., Servais, G.E. & Pfaffenbach, T.V. (1993). *An Investigation of Human Body Electrostatic Discharge.* 19th International Symposium For Testing & Failure Analysis, Los Angeles.

Lenihan, J. (1990). *Bilim İş Başında* (12.Baskı). Ankara: TÜBİTAK.

Lüttegens, G & Wilson, N. (1997). *Electrostatic Hazards*. Oxford: Butterworth-Heinemann Press.

Mim, L. J. M. (Ed.). (1998) *Electrostatic Charging of Textiles*. Manchester: The Textile Instıtute.

Mini- Circuits, (2003). *The Prevention and Control of Electrostatic Discharge (ESD)(AN-40-005)*. 3 Şubat 2011, http://www.minicircuits.com/app/AN40-005.pdf

NASA Standard ,(2000). Standard Test Method For Evaluating Triboelectric Charge Generation And Decay. 2 Ocak 2011, http://empl.ksc.nasa.gov/Publications/publications.htm

Oral, M. (1983). *Elektrostatik*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.

Osei-Ntiri K. (1992). *Measurement of Electrostatic Charge on Protective Clothing In Low Humidity Environment*, University of Alberta Master of Science Thesis, Edmonton Alberta.

Pinar, A. & Michalak, L. (2006). Influence of Structural Parameters of Wale-Knitted Fabrics on their Electrostatic Properties, *Fibres & Textiles In Eastern Europe, 14* (5), 69-74.

Pulse Elektronik, (2011). *Tekstil Üretim Süreçlerinde Antistatik Uygulamalar*. 20 Temmuz 2011, http://www.antistaticbar.net/tekstil-uygulamalari

Schemer-Loe, G., Stegmaier, T., Scherieble, G. & Planck, H. (2005,a). Döşemelik Kumaşların Statik Elektrik Yüklenmesinin Azaltılması. *Tekstil Maraton, 15* (80), 59-61.

Schemer-Loe, G., Stegmaier, T., Scherieble, G. & Planck, H. (2005,b). Giysilik Kumaşların Elektrostatik Tutumları. *Tekstil Maraton, 15* (80), 76-77.

Schindler, W. D. & Hauser, P. J. (2004). *Chemical Finishing of Textiles* (1th ed.). Cambridge: Woodhead.

Shafik, A.(1996). Effect of Different Types of Textiles on Male Sexual Activity',*Systems Biology in Reproductive Medicine*, *37* (2), 111-115.

Shafik, A., Ibrahim, I. H. & El-Sayed, E. M. (1992). Effect of Different Types of Textile Fabric on Spermatogenesis: Electrostatic Potentials Generated on the Surface of the Human Scrotum By Wearing Different Types of Fabrics. *Systems Biology in Reproductive Medicine, 29* (2), 147-150.

Sher, L. (2000). Effects of Electrostatic Potentials Generated on the Surface of the Skin by Wearing Synthetic and Semisynthetic Fabrics on Physical Condition, Mood and Behavior: Role of Acupuncture Points. *Medical Hypotheses 54* (3), 511–512.

Stull, J. O. & Greimel, T. C. (1996). A New Test Method to Measure Triboelectric Static Charge Generation on Protective Clothing Materials. *Performance of Protective Clothing 5*, 85-99.

Suh, M. (2008). *Static Generation and Dissipation on Textiles*, Master of Science, North Carolina State University, Raleigh.

T.C.Milli Eğitim Bakanlığı Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (2007), *Elektrik Elektronik Teknolojisi Elektriğin Temel Esasları*. 2 Ocak 2010, http//www.obitet.gazi.edu.tr/MEGEP

Teknik Video İnternet Sitesi, (2009). *Statik Elektrik Kazası*. 10 Ocak 2010, http://www.teknikvideo.net/statik-elektrik-kazasi.html

Türk Standardları Enstitüsü, (1996). TS 250 EN 1049 – 2 *İplik Sıklığı Tayini*

Türk Standardları Enstitüsü, (1965). TS 251 *Dokunmuş Kumaşlar - Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini*

Türk Standardları Enstitüsü, (1989). TS 255 *Kumaştan Çıkarılan İplik Numarası Tayini*

Türk Standardları Enstitüsü, (2001). TS EN ISO 12947 – 2 *Martindale Metoduyla Kumaşların Aşınmaya Karşı Dayanımı Tayini Bölüm 2: Numune Kopmasının Tayini*

Varnaitė, S. & Katunskıs, J. (2009,a). Influence of Abrasion on Electrostatic Charge Decay of Woven Fabrics With Conductive Yarns. *Materials Science, 15* (2), 160-166.

Varnaitė, S. & Katunskis, J. (2009,b). Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics With Conductive Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe, 17* (5), 69-75.

Wiley, J. & Sons, I. (2011). *Processing and Finishing of Polimeric Materials* (1th ed.). New Jersey: Wiley.

Yöney, T. (2005). Statik Elektrik Nedir? Nasıl Çalışır?. *Bilim Teknik 453*, 102.

Zhao, J. (2003). *Study of the Effect of Rubbing Materials on the Tribo-Electrification of Textile Materials*, Master of Science, University of Manitoba, Winnipeg Manitoba.

EK 1

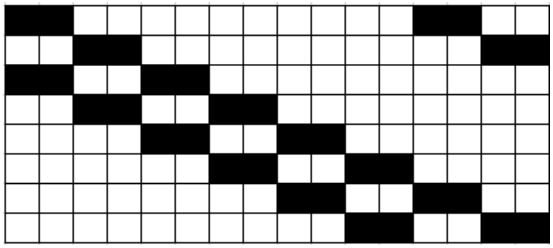
TEKSTİL MATERYALLERİN STATİK ELEKTRİKLENMESİ İLE İLGİLİ STANDARTLAR

ISO/TR 6356 - 1982	Textile Floor Coverings. Assessment of Static Electrical ropensity -'Walking' Test
BS 5958	Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity Part 1: 1991. General Considerations Part 2: 1991. Recommendations for Particular Industrial Situations
BS 6524: 1984 (1995)	Determination of the Surface Resistivity of a Textile Fabric
BS 6654: 1985 (1996)	Method for Determination of the Electrical Resistivity of Textile Floor Coverings
BS 7078: 1989 (1996)	Method for Determination of the Electrical Resistance to Earth of an Installed Textile Floor Covering
BS 7506	Methods for Measurement in Electrostatics Part 1: 1995. Guide to Basic Electrostatics Part 2: 1996. Test Methods
BS DD 68: 1980	Method tor Determination of Static Electricity Propensity of Textile Floor Coverings: 'Walking Test'
BS EN 1149	Protective Clothing. Electrostatic Properties
BS EN 1149-1: 1996	Surface Resistivity (Test Methods and Requirements)
BS EN 1149-2: 1997	Test Method for Measurement of the Electrical Resistance Through aMaterial (Vertical Resistance)
BS EN 20284: 1993	Conveyer Belts. Electrical Conductivity. Specification and Method of Test (= ISO 284: 1982)
ASTM D4238-90	Standard Test Method for the Electrostatic Propensity of Textiles
AATCC Test Method 76 - 1995	Electrical Resistivity of Fabrics

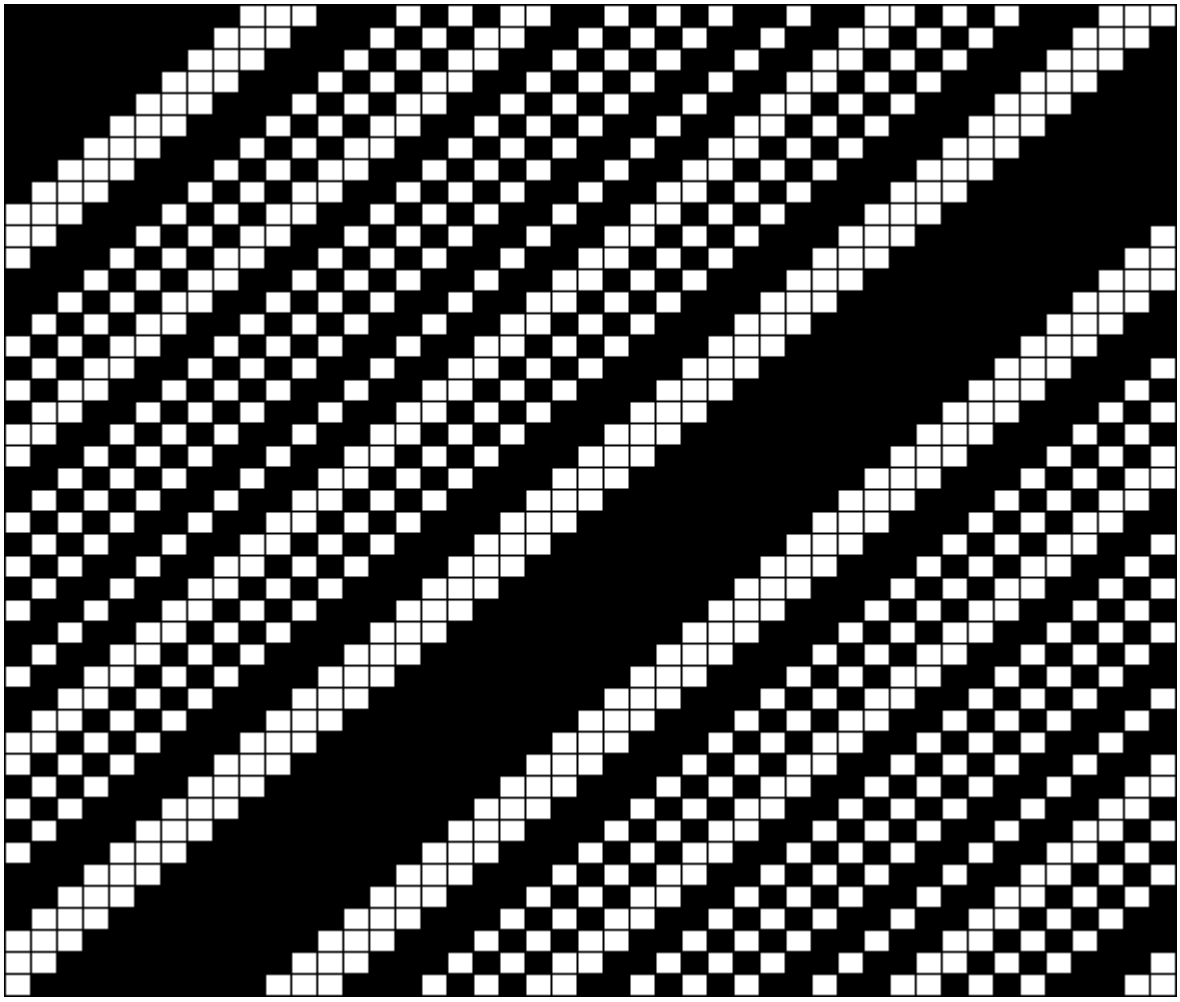
AATCC Test Method 84 - 1995	Electrical Resistivity of Yarns
AATCC Test Method 115 - 1995	Electrostatic Clinging of Fabrics; Fabric-to-Metal Test.
US Federal Test Method, Standard lOlC, Method 4046	Charge Decay Test
DIN 54 345	Prufung von Textilien; elektrostatisches Verhalten. Teil 1: Bestimmung der elektrischer Verhalten - April 1975 Teil 2: Prufung textilier Fussbodenbelage im Begehversuch - Oct. 1976 Teil 3: Apparative Bestimmung der Autladung textiler Fussbodenbelage - July 1985 Teil 4: Bestimmung der elektrostatischen Aufladbarkeit textilier Flachengebilde – July 1985 Teil 5: Bestimmung des dielektrischen Widerstandes an Streifen aus textilien Flachengebilden - July 1985
JIS L 1094-1988	Testing Methods for Electrostatic Propensity of Woven and Knitted Fabrics
JIS T 8118-1983	Working Wear for Preventing Electrostatic Hazards

EK 2

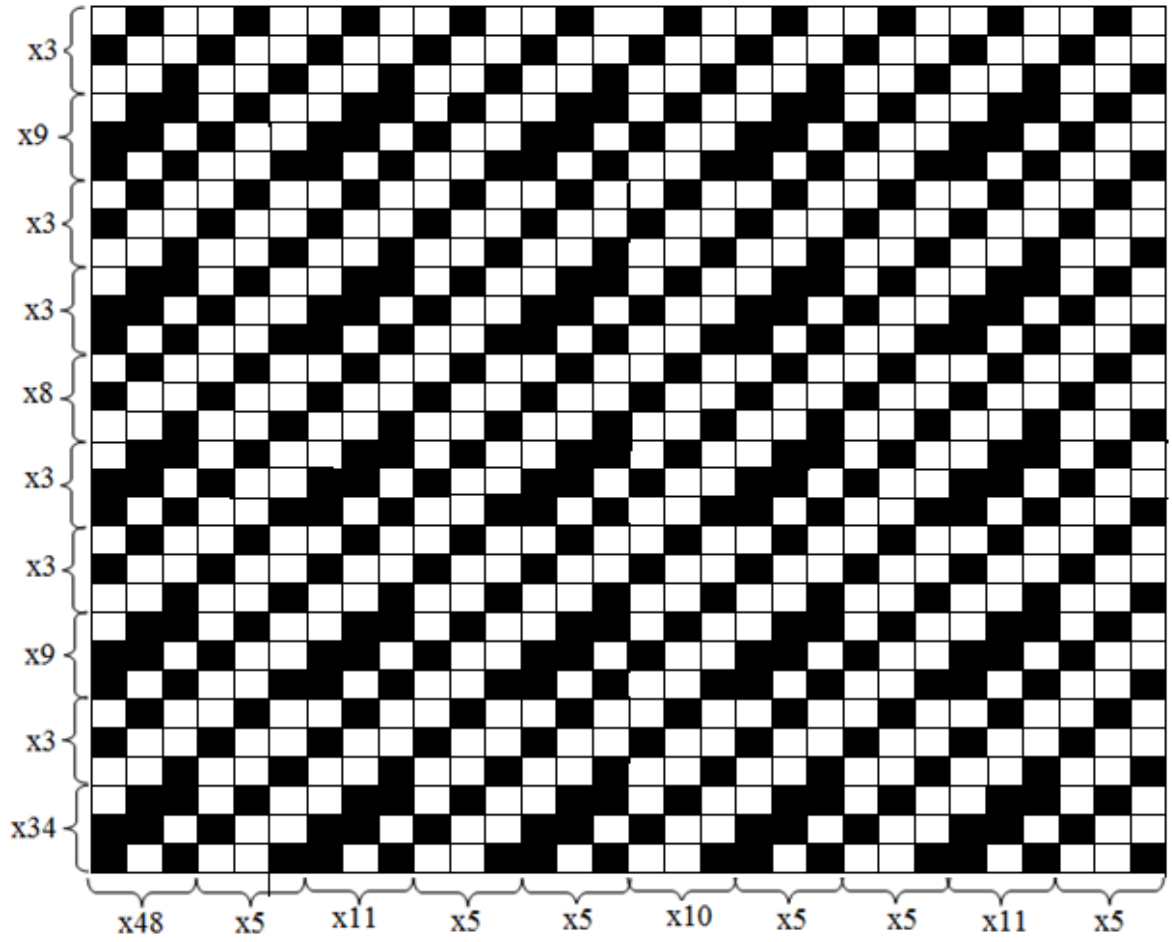
ÖRGÜ RAPORLARI



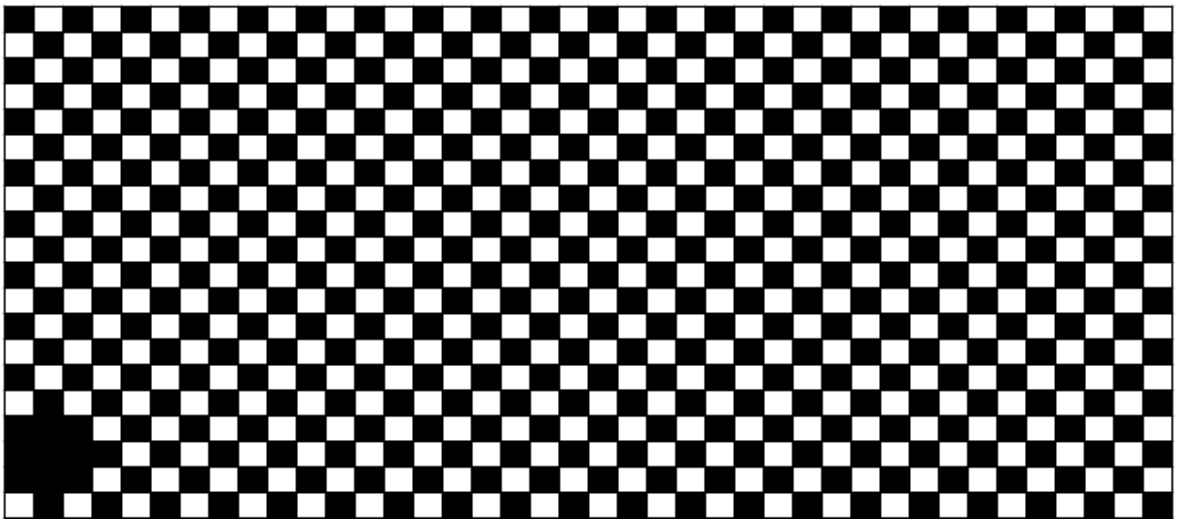
D1 kumaşına ait örgü raporu



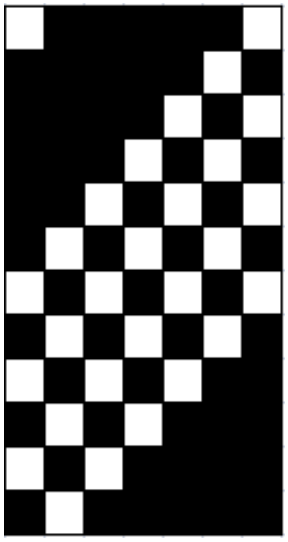
D4 kumaşına ait örgü raporu



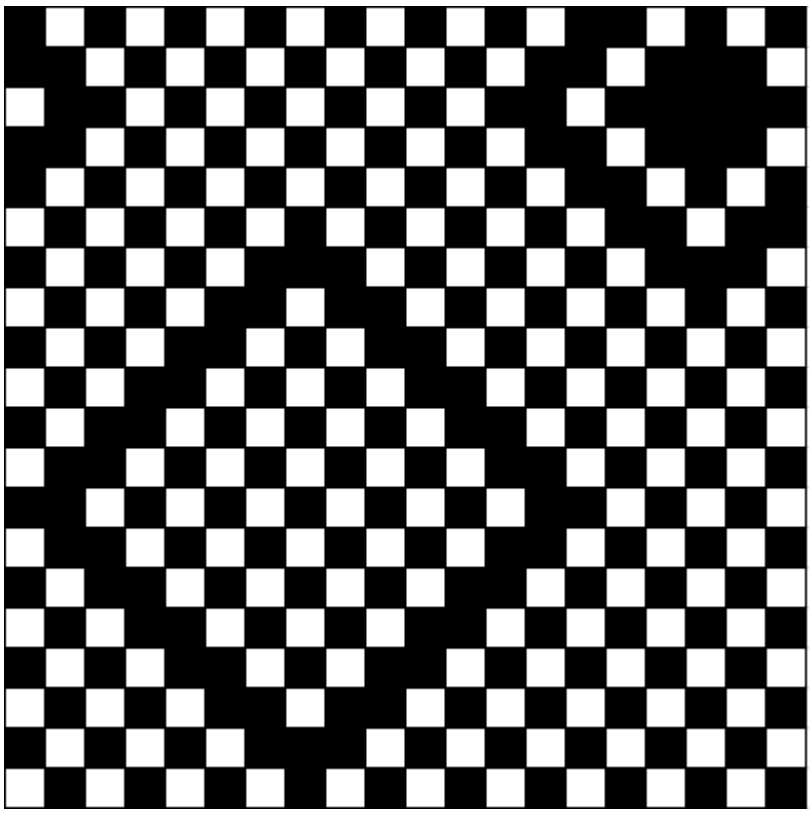
D12 kumaşına ait örgü raporu



D13 kumaşına ait örgü raporu



D16 kumaşına ait örgü raporu



D17 kumaşına ait örgü raporu