AUXETIC YAPIDA ÖRME KUMAŞLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet TİRİTOĞLU

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AUXETIC YAPIDA ÖRME KUMAŞLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet TİRİTOĞLU
0000-0002-2316-0782

Prof. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

AUXETIC YAPIDA ÖRME KUMAŞLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet TİRİTOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN

Poisson oranı; bir malzemenin yük altında en ve boy yönlü boyut değişikliği arasındaki orandır. Çoğu malzemeye kuvvet uygulandığında en yönünde daralma meydana gelir. Bu malzemeler pozitif poisson oranına (Poisson Ratio – PR) sahiptir. Hem en hem de boy yönlü genişlemenin sağlandığı malzemeler negatif poisson oranına sahiptir ve auxetic malzeme olarak adlandırılırlar. Negatif poisson oranlı (auxetic) malzemeler, üstün özelliklerinden dolayı özellikle teknik tekstillerde farklı yapıdaki malzeme talebini karşılama potansiyeline sahiptir. Auxetic yapıda örme kumaşların geliştirilmesi ve yapısal özelliklerinin incelendiği çalışmada spor giyim ürünlerinde kullanıma uygun auxetic örme kumaşların düz örme makinelerinde üretimi amaçlanmıştır. Literatürdeki PR ölçüm yöntemleri incelenmiş ve yeni ölçüm metodu geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Literatürdeki auxetic yapıda örme kumaşlara ilaveten tekstil dışındaki auxetic malzemelerin yapıları da örme desen programına uyarlanarak farklı örgüde 33 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. PR ile kumaş performans özellikleri arasındaki ilişki incelenerek auxetic örme kumaşların spor giyim ürünlerinde kullanımı araştırılmıştır. Sonuçta; PR azaldıkça numunelerin en yönlü genişledikleri ve porozite değerlerinin arttığı, bunun sonucunda geçirgenliğin arttığı görülmüştür. Auxetic yapıdaki numunelerin uzama miktarı arttıkça pozitif PR numunelere göre daha fazla hava ve su buharı geçirgenliğine sahip oldukları ve genel olarak ısı iletkenliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak; kuvvet uygulandığında yüksek geçirgenliğe ve yüksek ısı iletimi özelliklerine sahip ve böylece daha konforlu kumaş tasarlanması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Auxetic kumaş, poisson oranı, örme kumaş, spor giyim, konfor ölçümü
2022, x + 131 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF AUXETIC KNITTED FABRICS AND INVESTIGATION OF THEIR STRUCTURAL PROPERTIES

Mehmet TİRİTOĞLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN

Poisson's ratio (PR) is a mechanical property representing the lateral behavior of materials under an axial load. Typical natural materials possess a positive PR, which means when they are stretched in one direction, they shrink in the direction transverse to the loading direction. The material, which shows expansion in both width and length when force is applied, has a negative poisson ratio and they are called “auxetic materials”. Due to their superior properties, the materials with negative possion ratio (auxetic materials) can meet the demand for different materials, especially in technical textiles. In this study, the development of auxetic knitted fabrics and their structural properties were examined. It was aimed to produce auxetic knitted fabrics suitable for use in sportswear products on flat knitting machines. PR measurement methods in the literature were examined and new measurement method development studies were carried out. In addition to the auxetic knitted fabrics in the literature, the structures of auxetic materials other than textiles were adapted to the knitting pattern program and 33 samples were produced in different knits. The use of auxetic knitted fabrics in sportswear products was investigated by examining the relationship between PR and fabric performance properties. It was seen that, as the PR decreased, the samples expanded in the width direction and the porosity values increased, leading to an increase in permeability. With increasing elongation, auxetic materials have more air and vapor permeability than positive PR samples. The thermal conductivity also increases in auxetic materials in general. Considering these properties, it is possible to design fabric with high permeability and high heat conduction properties and thus a more comfortable fabric.

Key words: Auxetic fabric, poisson ratio, knitted fabric, sportswear, comfort measurement
2022, x + 131 pages.

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve doktora çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, ilgisini, bilgisini ve desteğini esirgemeyen, her türlü olumsuzlukta cesaretlendiren saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof.Dr. Yasemin KAVUŞTURAN'a gönülden teşekkür ederim. Tez izleme komitesinde yer alan ve çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Sayın Prof.Dr. Binnaz KAPLANGİRAY ve Sayın Doç.Dr. Neyir ÖZCAN SEMERCİ'ye teşekkür ederim.

Hammadde temini ve numune üretiminde desteklerini esirgemeyen Polyteks Tekstil San.Ar.ve Eğt.A.Ş.'ye, Adoksan Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'ye, Uludağ Triko San.ve Tic.A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, moral ve desteğini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım Sayın Dr.Araş.Gör. Serkan TEZEL'e teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte hep yanımda olan, hiçbir konuda özveriden kaçınmayan eşim Sayın Semra TİRİTOĞLU'na ve yoğun tempoda kendilerine az vakit ayırabildiğim çocuklarım Ahmet Erdem ve Egemen TİRİTOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Bursiyer olarak görev aldığım 219M170 numaralı Auxetic örme kumaşların tasarımı ve üretimi başlıklı Tubitak 1001 projesi kapsamındaki destekleriyle katkıda bulunan ve akademik alanda çalışmamı teşvik eden Türkiye Bilim ve Teknoloji Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet TİRİTOĞLU
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1.GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1. Tanımlar 4
2.2. Auxetic Malzemelerin Özellikleri 7
2.2.1. Sinklastik davranış 8
2.2.2. Değişken geçirgenlik 9
2.2.3. Kesme modülü 10
2.2.4. Girinti modülü ve enerji absorbe etme 11
2.2.5. Kırılma direnci 14
2.3. Auxetic Yapılar 14
2.3.1. Girintili yapılar 16
2.3.2. Döner yapılar 18
2.3.3. Kiral yapılar 19
2.3.4. Fibril – Nodül yapılar 20
2.3.5. Katlanır yapılar 22
2.3.6. Burkulmaya bağlı mekanizmalar 23
2.4. Auxetic Tekstil Malzemesi Üretim Yöntemleri 23
2.4.1. Auxetic iplik üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar 24
2.4.2. Auxetic dokuma kumaş üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar 29
2.4.3. Auxetic kompozit üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar 34
2.4.4. Auxetic örme kumaş üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar 36
2.5. Auxetic Malzemelerin Uygulama Alanları 43
2.6. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemleriyle İlgili Çalışmalar 47
2.6.1. Universal mukavemet ölçüm cihazı (UTT) ile yapılan çalışmalar 49
2.6.2. Diğer ölçüm cihazlarıyla yapılan çalışmalar 52
2.7. Örme Kumaş Konforuyla İlgili Çalışmalar 54
3. MATERYAL VE YÖNTEM 62
3.1. Materyal 62
3.1.1. PR ölçüm yönteminin etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler 62
3.1.2. Örgü yapısının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler 64
3.1.3. Üretim parametrelerinin PR etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler 72
3.1.4. Elastanlı iplik kullanımının PR etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler 73
3.1.5. Performans özelliklerinin ölçümü için üretilen numuneler 74
3.2. Yöntem 75
3.2.1. Kumaşlara uygulanan relakse işlemleri 75
3.2.2. Kumaşların sıra ve çubuk sıklıklarının belirlenmesi 76
3.2.3. Kumaşların metrekare ağırlığının belirlenmesi 76
3.2.4. Kumaşların kalınlığının belirlenmesi 76
3.2.5. Kumaşların ilmek iplik uzunluğu değerlerinin belirlenmesi 77
3.2.6. Poisson oranı (PR) değeri ölçümü 77
3.2.7. Hava geçirgenliği ölçümü 82
3.2.8. Su buharı geçirgenliği ölçümü 83

3.2.9. Termal iletkenlik ölçümü 84
3.2.10. Isık geçirgenliğinin ölçümü 84
3.2.11. Bulguların değerlendirilmesi 86
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 88
4.1. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemlerinin İncelenmesi 88
4.1.1. Üniversal mukavemet test cihazı (UTT) ölçüm sonuçlarının incelenmesi 88
4.1.2. Ekstensometre test cihazı ile yapılan ölçüm sonuçlarının incelenmesi 90
4.1.3. Ekstensometre ile UTT test cihazlarının kıyaslanması 93
4.1.4. Katlanır yapıdaki kumaşların PR ölçümü 93
4.2. Örgü Yapısının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 95
4.3. Kumaş Üretim Parametrelerinin Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 99
4.4. Elastanlı İplik Kullanımının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 104
4.5. Poisson oranı ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi 107
4.5.1. PR oranı değeri ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkinin incelenmesi 108
4.5.2. PR değeri ile termal iletkenlik arasındaki ilişkinin incelenmesi 112
4.5.3. PR oranı değeri ile su buharı geçirgenliği arasındaki ilişkinin incelenmesi 115
5. SONUÇ 118
5.1. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemlerinin İncelenmesi 118
5.2. Örgü yapısının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 119
5.3. Kumaş Üretim Parametrelerinin Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 119
5.4. Elastanlı İplik Kullanımının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi 120
5.5. PR oranı değeri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi 121
KAYNAKLAR 123
ÖZGEÇMİŞ ....**Error! Bookmark not defined.**

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
cm	Santimetre
mm	Milimetre
λ	Termal iletkenlik katsayısı
υ	Poisson oranı
ε	Yüzde uzama

Kısaltmalar	**Açıklama**
BAY	Braid auxetic iplik (Braid auxetic yarn)
HAY	Heliksel auxetic iplik (Helixel auxetic yarn)
NPR	Negatif Poisson oranı (Negative Poisson's ratio)
PR	Poisson oranı (Poisson's ratio)
UTT	Üniversal mukavemet cihazı (Universal tensile tester)
2D	2 boyutlu
3D	3 boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Malzemeye kuvvet uygulandığındaki boyutsal değişimler: a) konvansiyonel b) auxetic malzeme 5
Şekil 2.2. Doğal ve insan yapımı NPR özelliği gösteren bazı malzemelerin keşif yıllarını gösteren çizelge ..... …….6
Şekil 2.3. a) Auxetic olmayan ve b) auxetic malzemelerin eğrilikleri..... .8
Şekil 2.4. Sinklastik davranışlı auxetic yapıların kask ve dizlik uygulamaları 9
Şekil 2.5. Girintili üçgen yapısında değişken geçirgenliğin gerçekleşmesi..... 10
Şekil 2.6. a) Konvansiyonel, b) auxetic membran filtre yapıları 10
Şekil 2.7. Auxetic ve konvansiyonel malzemelere kuvvet uygulandığında kuvvetin yanal olarak iletilmesi 12
Şekil 2.8. Auxetic yapılar: a) girintili-çıkıntılı, b) üç boyutlu girintili-çıkıntılı, c) dönerli yapılar, d) 3D dönerli yapılar, e) kiral örgü yapısı, f) 3D kiral örgü yapısı, g) delikli levha, h) kırık hücre tipi model, i) gözenekli yapı, j) buruşuk levha tipi yapı, k) dolaşık tel tipi, l) Miura-ori katlı örgü yapısı 15
Şekil 2.9. Farklı tarihi eserlerde bulunan auxetic desen yapıları: a) İran'ın Khargird kentindeki Ghiyathiyya medresesi, b) El Hamra Sarayı/İspanya, c) Taj Mahal, Agra/Hindistan..... .16
Şekil 2.10. Auxetic şekil yapıları: a) balpeteği, b) okbaşı, c) yıldız .....…17
Şekil 2.11. Balpeteği birim yapısı..... .17
Şekil 2.12. Döner yapılar: a) üçgen, b) kare, c) dikdörtgen 18
Şekil 2.13. Döner yapıların a) başlangıç, b) yük altında deformasyonu 19
Şekil 2.14. Kiral yapılar……20
Şekil 2.15. Kiral yapıların; a) başlangıç, b) yük altında görünümü..... .20
Şekil 2.16. Fibril – nodül yapılar 21
Şekil 2.17. Fibril-nodül yapıların; a) başlangıç, b) yük altında deformasyonu..... .21
Şekil 2.18. Farklı örgü yapısında katlanır örgüler ..... .22
Şekil 2.19. Heliksel auxetic ipliğin a) gerilimsiz ve b) yük altındaki görünümü..... .25
Şekil 2.20. Heliksel auxetic iplikler a) 4 katlı, b) 6 katlı ..... .27
Şekil 2.21. Braid auxetic iplik (BAY) üretimi 28
Şekil 2.22. a) Auxetic ipliklerden üretilmiş dokuma kumaş, b) kompozit kumaş, c) kompozit kumaşa kuvvet uygulandığında en ve boy yönlü değişim grafiği. .30
Şekil 2.23. a) Auxetic ipliklerle üretilen auxetic dokuma kumaş yapısı, b) başlangıç pozisyonunda kumaş yapısının enine kesiti, c) Yük altında enine kesit..... .31
Şekil 2.24. Auxetic yapıda üretilmiş dokuma kumaş numunesi ..... .32
Şekil 2.25. Yük altında konvansiyonel ve auxetic iplikler arasında oluşan matrix/reçine kuvvet değişimi..... .35
Şekil 2.26. Döner kare yapısında kesilerek auxetic hale getirilmiş dokusuz yüzey numunelerin farklı uzama değerlerindeki görünümü..... .35
Şekil 2.27. Çalışma kapsamında oluşturulan kumaşın örgü yapısı ..... .37
Şekil 2.28. Üretilen numunelere ait desen yapıları (soldan sağa doğru) a) 4x4, 8x8, 12x12, 20x20, 24x24 b) 4x24, 8x24, 12x24, 16x24, 24x24..... .38
Şekil 2.29. Aramid ve aramid-poliamid ipliklerle üretilen kompozit numunelerin; a)örgü yapısı, b) atkılı örme makinesinde örülmüş hali, c) reçine ile kaplanarak kompozit oluşturulması..... .38
Şekil 2.30. Farklı örgü yapılarında üretilmiş çözgülü örme auxetic kumaşlar 40

Şekil 2.31. a) Auxetic spacer kumaş, b) kumaş yüzeylerindeki geometrik yapı, c) tekrar eden birim ..... .41
Şekil 2.32. Elastik ve rijit yatırma iplikleriyle üretilen çözgülü örme numuneler ..... .42
Şekil 2.33. Auxetic bandaj çalışma prensibi ..... .45
Şekil 2.34. Auxetic yapıda tasarlanan çocuk giysileri ..... .47
Şekil 2.35. Ekstensometrenin farklı yerleşim örnekleri ..... .49
Şekil 2.36. Braid auxetic iplik (BAY) Poisson oranının ölçümü için kurulan deney düzeneği ..... .51
Şekil 2.37. Numunelerin poisson oranının ölçümü için hazırlanmış deney düzeneği ... .53
Şekil 2.38. Porozite ve su buharı geçirgenliği değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi . .56
Şekil 2.39. Spor giysilerin ısıl iletkenliğinin termal kamera ile kaydedilmesi ve belirlenen noktalardaki farklılıkların ölçülmesi……..61
Şekil 3.1. Numunelerin teknik çizimleri ve kumaş fotoğrafları ..... .63
Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri ..... .66
Şekil 3.3. Numunelerin a) buharlı paskarada relakse edilmesi, b) yıkama makinesi .... .76
Şekil 3.4. Numunelerin a) UTT cihazına, b) Fryma ekstensometresine yerleştirilmesi .78
Şekil 3.5. Numune üzerindeki işaretlemeler ..... .78
Şekil 3.6. Numunelerin belirli uzama oranlarındaki fotoğrafları ..... .79
Şekil 3.7. 3 boyutlu kumaşların dikey olarak çenelere yerleştirilmesinde meydana gelen kıvrılma nedeniyle Poisson oranının ölçülememesi ..... .80
Şekil 3.8. Numunelerin Fryma ekstensometreye yerleştirilmesi ve oluşturulan deney düzeneği…… … 81
Şekil 3.9. Numunelerin sabit hızla çekilerek kuvvet uygulanması için geliştirilen deney düzeneği……..81
Şekil 3.10. a) Numunelerin kumaş gerdirme tertibatına sabitlenmesi, b) belirli uzama değerlerinde hava geçirgenliği ölçümü ..... .83
Şekil 3.11. Permetest cihazında kumaş gerdirme tertibatıyla su buharı geçirgenliği ölçümü……..……..83
Şekil 3.12. Alambeta cihazında kumaş gerdirme tertibatıyla ısıl geçirgenliği ölçümü . .84
Şekil 3.13. Işık geçirgenliği ölçümü için oluşturulan deney düzeneği ..... .85
Şekil 3.14. Kumaş gerdirme tertibatıyla, belirli uzama değerlerindeki ışık geçirgenliği ölçümü…… ...85
Şekil 4.1. Üniversal mukavemet test cihazında elde edilen Poisson oranı değerleri.... ..89
Şekil 4.2. Ekstensometre ile elde edilen PR değerlerine ait grafik..... .91
Şekil 4.3. Zigzag desenli kumaşların; a) önden görünüşü, b) yandan görünüşü ve katlanabilir tipteki kumaşların; c) önden görünüşü, d) UTT cihazında yandan görünüşü ..... .94
Şekil 4.4. Foldable (katlanır) örgü yapısındaki kumaşları PR ölçüm sonuçları..... .95
Şekil 4.5. Örgü yapısının Poisson oranı değerine etkisini incelemek amacıyla üretilen numunelerin Poisson oranı ölçüm sonuçları ..... .97
Şekil 4.6. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S7)..... .101
Şekil 4.7. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S9)..... .101
Şekil 4.8. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S12)..... .102
Şekil 4.9. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S29)..... .102

Şekil 4.10. Elastanlı iplik kullanımının Poisson oranına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların PR ölçüm sonuçları……..……105
Şekil 4.11. Kumaşların Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları ..... .108
Şekil 4.12. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki hava geçirgenliği (lt/m^2.s) değerleri ..... .109
Şekil 4.13. Kumaşların uzamaya bağlı olarak hava geçirgenliğinin % değişimi ..... .110
Şekil 4.14. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki ışık geçirgenliği (lux) değerleri ..... .111
Şekil 4.15. Kumaşların uzamaya bağlı olarak ışık geçirgenliğinin % değişimi ..... .111
Şekil 4.16. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki ısıl iletkenlik katsayısı (λ) değerleri ..... .112
Şekil 4.17.Kumaşların uzamaya bağlı olarak ısı iletkenlik % değişimi……113
Şekil 4.18. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki kalınlık (mm) değerleri……..… 114
Şekil 4.19. Kumaşların uzamaya bağlı olarak kalınlık değerlerindeki % değişim ..... .114
Şekil 4.20. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki su buharı geçirgenliği değerleri ..... .116
Şekil 4.21. Kumaşların uzamaya bağlı olarak su buharı geçirgenliği değerlerindeki % değişim ..... .117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin PR değerleri..... .7
Çizelge 3.1. Test metodunun PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları……..64
Çizelge 3.2. Örgü yapısının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları 65
Çizelge 3.3. Üretim parametrelerinin PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları 73
Çizelge 3.4. Elastanlı iplik kullanımının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları 74
Çizelge 3.5. PR oranı değer ile konfor özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları..... 75
Çizelge 4.1. UTT cihazında PR ölçümüne ait varyans analizi ..... .89
Çizelge 4.2. UTT cihazında PR ölçümüne ait SNK sonuçları 90
Çizelge 4.3. Ekstensometre ile yapılan PR ölçüm sonuçlarına ait varyans analizi 92
Çizelge 4.4. Ekstensometre ile PR ölçümüne ait SNK sonuçları 92
Çizelge 4.5. UTT ile Ekstensomatre cihazılarının PR ölçümünde kıyaslanmasına ait varyans analizi……93
Çizelge 4.6. Örgü yapısının türünün incelendiği numunelere ait PR değerleri..... 96
Çizelge 4.7. Örgü yapısının PR etkisine ait varyans analizi 98
Çizelge 4.8. Örgü raporunun Poisson oranına etkisine ait SNK tablosu 99
Çizelge 4.9. % uzama – PR arasındaki ilişkiye ait SNK sonuçları 99
Çizelge 4.10. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların PR ölçüm sonuçları……100
Çizelge 4.11. Kumaş üretim parametrelerinin PR etkisine ait varyans analizi 103
Çizelge 4.12. Örgü yapısının PR oranına etkisine ait SNK tablosu 103
Çizelge 4.13. Relaksasyon yönteminin PR değerine etkisine ait SNK verileri..... 103
Çizelge 4.14. İplik numarasının PR değerine etkisine ait SNK verileri 104
Çizelge 4.15. Elastanlı iplik kullanımının Poisson oranına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları 105
Çizelge 4.16. Elastanlı iplik kullanımının PR etkisine ait varyans analizi 106
Çizelge 4.17. Elastanlı iplik kullanımının PR değerine etkisine ait SNK verileri 106
Çizelge 4.18. Elastanlı iplik kullanımında örgü yapısının PR değerine etkisine ait SNK verileri..... 107
Çizelge 4.19. Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların PR ölçüm sonuçları..... 107
Çizelge 4.20. Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların PR ölçüm sonuçları..... 108
Çizelge 4.21. Numunelerin ışık geçirgenliği (lux) değerleri..... 110
Çizelge 4.22. Numunelerin ısı iletkenliği (W/mK) değerleri..... 112
Çizelge 4.23. Numunelerin belirli uzama oranındaki kalınlık (mm) değerleri 113
Çizelge 4.24. Kumaş numunelerin %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki su buharı geçirgenliği değerlerinin ölçümü……...……115

1.GİRİŞ

Tekstil sektöründe yeni özellik ve fonksiyonlara sahip ürünlere ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Konvansiyonel malzemelere göre üstün özelliklere sahip auxetic yapılarla fonksiyonel ürünler üretilebilmektedir. Auxetic malzemeler, üstün özelliklerinden dolayı özellikle teknik tekstillerde ihtiyaç duyulan farklı yapıdaki malzeme talebini karşılama potansiyeline sahiptir. Auxetic ürünlerin tekstil sektöründe kullanılmasıyla teknik özellikleri geliştirilmiş iplik, kompozit veya kumaşların üretilmesi mümkündür.

Auxetic malzeme üretiminde en önemli hususlardan biri Poisson oranının tespit edilmesidir. Poisson oranı; bir malzemeye kuvvet uygulandığında en ve boy yönlü boyut değişikliği arasındaki orandır. Boy yönlü kuvvet uygulandığında en yönünde daralma meydana geldiğinden, çoğu malzeme pozitif Poisson oranına sahiptir. Hem en hem de boy yönlü genişlemenin sağlandığı malzemeler ise negatif Poisson oranına sahiptir ve "auxetic" olarak adlandırılırlar.

Auxetic kumaşlara kuvvet uygulandığında diğer doğrultuda daralma yerine genişleme gözlendiğinden kuvvet altında gözenekliliği artmaktadır. Spor giysilerin; efor altında artan sıcaklık ve terlemeyi hızlıca dışarıya atması, konforlu hissettirmesi beklenmektedir. Giysi stabil durumdayken belirli bir gözenekliliğe sahipken, kuvvet altında gözenekliliğin artmasıyla kumaş geçirgenliği ve konfor etkisi de artacaktır. Bu tez çalışmasında, poisson oranı ile kumaş performans özellikleri arasındaki ilişki incelenerek, kuvvet altında genişleme özelliği gösteren auxetic kumaşların kullanılarak daha konforlu spor giysi üretimi araştırılmıştır.

Literatürde Poisson oranı tespitinin bir deney standardına göre yapılmadığı ve farklı parametrelerde gerçekleştirildiği görülmektedir. Farklı parametrelerinin deney sonuçları üzerinde etkisi olacağından, kıyaslama yapılabilmesi için Poisson oranı ölçümünde mevcut deney standartlarıyla ölçümün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Poisson oranı ölçümü ilgili deney standardına göre yapılarak yeni ölçüm metodunun validasyonu araştırılmıştır.

Tez kapsamındaki çalışma 5 alt başlığa ayrılmıştır:

1. aşamada, dikey olarak Poisson oranının ölçüldüğü Üniversal Mukavemet Test Cihazı (UTT) cihazları ile yatay ölçümün yapılabildiği Ekstansometre (Fryma Ekstansometresi) test cihazları karşılaştırılmıştır. Ekstensometre test cihazlarının basit kullanımı, daha ucuz olması ve daha yaygın kullanımı nedeniyle Poisson oranı ölçümüne alternatif olması durumu incelenmiştir. Ayrıca, üç boyutlu örme kumaşların (pliseli, katlı, vb.) üniversal mukavemet test cihazında çenelere serbest olarak yerleştirilmesi durumunda numunelerin yerçekimi etkisiyle aşağı doğru kıvrılması nedeniyle bu tür kumaşların Poisson oranı ölçümü yapılamamaktadır. Bu nedenle bu tür kumaşlar için yatay olarak Poisson oranı ölçümüyle ilgili çalışmalar yapılmıştır.

2. aşamada, kumaş örgü yapısının Poisson oranına etkisi incelenmiştir. Literatürdeki auxetic yapıda örme kumaşlar yanında tekstil dışındaki auxetic malzemelerin yapıları da örme desen programına uyarlanarak numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı örgü yapısında 33 adet kumaş örülerek Poisson oranı değerleri ölçülmüştür. Kumaş üretiminde diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Konvansiyonel yapıdaki (RL, ribana, selanik, milano, interlok, haroşa) örgüler de üretilerek Poisson oranı değerleri karşılaştırılmıştır.

3. aşamada; iplik numarası, iplik katsayısı, kumaş relaksasyon yöntemi gibi kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranı değerine etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada üretilen kumaşlarda mevcut desenlerden dört adedi seçilerek, Ne 28/1 ve Ne 36/1 numaralı ipliklerden üç katlı ve dört katlı numuneler üretilmiştir. Literatürdeki auxetic yapıda örme kumaşlarla ilgili çalışmalar incelendiğinde, relaksasyon işleminin etkisinin incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle üretilen örme kumaşlara kuru relakse, buharlı fiksaj ve yıkama işlemleri yapılarak, relaksasyon koşullarının PR değerlerine etkileri de incelenmiştir.

4. aşamada elastan iplik kullanımının PR değerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, süprem ve üç farklı desende auxetic örgü yapısı seçilerek; %100 polyester, %50 polyester-%50 polyester elastan ve %100 elastan ipliği olmak üzere üç farklı hammadde oranıyla numune üretimi gerçekleştirilmiştir.

5. aşamada; Poisson oranı ile örme kumaşların konfor performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla, daha önceki aşamalarda elde edilen veriler ışığında, farklı PR değerlerine sahip desenler belirlenmiştir. Numuneler, boyalı %100 pamuk ve %100 dry-fit polyester iplik olmak üzere iki farklı hammadde kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin; hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği, ısıl geçirgenlik gibi konfor özellikleri ölçülerek PR ile ilişkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; PR azaldıkça numunelerin en yönlü genişledikleri ve porozite değerlerinin arttığı, bunun sonucunda geçirgenliğin arttığı tespit edilmiştir. Auxetic yapıdaki numunelerde uzama miktarı arttıkça pozitif PR numunelere göre daha fazla hava ve su buharı geçirgenliğine sahip oldukları, genel olarak ısı iletkenliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Kumaş konfor özellikleriyle poisson oranı değeri arasındaki ilişki incelenerek kullanım esnasında (kuvvete maruz kaldığında) kumaşların geçirgenlik özellikleri araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Poisson oranı günümüzde çoğu mühendislik alanında malzemenin yapısını belirlemeye yarayan önemli özelliklerden biridir. Son yıllarda auxetic malzeme üretimine tekstil teknolojisinin kullanımının artışı dikkat çekmektedir (Hu, 2017).

2.1. Tanımlar

Bir malzemeye kuvvet uygulandığında gerilme yönüne dik yönde incelmesi beklenmektedir. Kuvvet altında en ve boy yönlü değişim miktarı, bir malzemenin temel mekanik özelliklerinden biridir ve Poisson oranı (PR) ile tanımlanır. PR, bir malzemede kuvvet uygulanan yöndeki uzama miktarı ile diğer yöndeki uzama miktarı arasındaki bağıntıdır. Bir başka deyişle cisimlerdeki enine kısalmanın boyuna uzamaya oranıdır. Bu oran pozitif veya negatif olabilir (Evans, 1991; Lim, 2015). Malzeme mekaniğinin önemli parametrelerinden biri olan PR, Simeon Denis Poisson (1781-1840) tarafından ortaya çıkarılmış, bu konuda günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır. PR günümüzde çoğu mühendislik alanında malzemenin yapısını belirlemeye yarayan önemli özelliklerden biridir (Poisson, 1827; Akkaya, Özvan, Tapan, Bor ve Özvan, 2017).

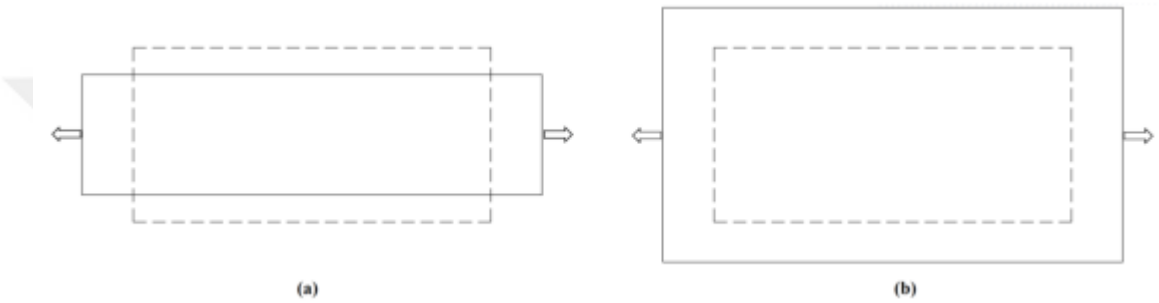
Poisson oranı (υ);

$$\nu = -\frac{\left(\frac{\Delta y}{y_0}\right)}{\left(\frac{\Delta x}{x_0}\right)} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\varepsilon_{enine}}{\varepsilon_{eksenel}} \qquad (2.1)$$

denklemiyle hesaplanmaktadır. $\varepsilon_{eksenel}$ kuvvetin uygulandığı yöndeki uzama oranı, ε_{enine} diğer yöndeki uzama oranını ifade etmektedir. Formüldeki "-" değeri nedeniyle uzamaya zorlanan bir malzemenin diğer yönde daralması sonucu PR pozitif "+", her iki yönde de uzama gerçekleşmesi durumunda ise PR eksi "-" değer almaktadır. Örneğin; PR (υ) 0,3 olan bir malzeme; gerilme kuvvetine maruz kalıyorsa ve eksenel yönde (ε_x) %10 uzatılırsa, bu malzemenin yanal şekil değişimi (ε_y) (daralma) %3 olmaktadır.

Negatif Poisson oranına sahip malzemelere “Auxetic malzemeler” denilmektedir. “Auxetic” terimi Yunanca kökenli olup auxetikos'tan gelmektedir ve kelime anlamı “genişlemeye eğilimli”dir. İlk olarak Profesör Ken Evans tarafından 1991 yılında kullanılmıştır (Evans, 1991).

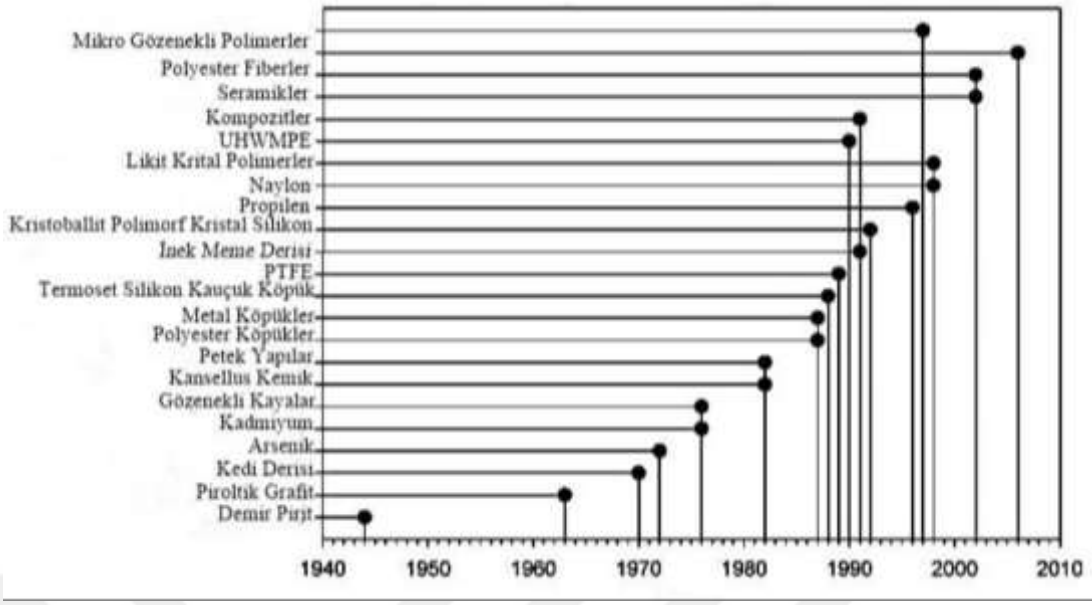
Konvansiyonel malzemeye bir doğrultuda kuvvet uygulanarak uzamaya zorlandığında diğer doğrultuda daralma (Şekil 2.1.a), auxetic malzemeye kuvvet uygulandığında ise genişleme meydana gelmektedir (Şekil 2.1.b).



Şekil 2.1. Malzemeye kuvvet uygulandığındaki boyutsal değişimler: **a)** konvansiyonel **b)** auxetic malzeme

Auxetic malzemeler doğal ve yapay yani insan yapımı auxetic malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 2.2’de bu iki gruba ait çeşitli auxetic yapılı malzemelerin keşif çizelgesi yer almaktadır (Can, 2017).

Malzeme belirli bir yönde gerildiğinde, genellikle uygulanan kuvvetin dik yönünde daralmaktadır. Enine deformasyonun derecesi, PR ile karakterize edilir. Denklem 2.2.’de, “D: boyut sayısını” belirtmektedir. D=2 ve D=3, sırasıyla iki boyutlu ve üç boyutlu izotropik malzemeler için uygulanabilir.



Şekil 2.2. Doğal ve insan yapımı NPR özelliği gösteren bazı malzemelerin keşif yıllarını gösteren çizelge (Can, 2017)

Teorik olarak; üç boyutlu izotropik malzemelerin Poisson oranı -1.0 ila 0.5 arasında değişen oranlara sahipken, iki boyutlu izotropik malzemeler için oran -1.0 ile 1.0 arasında değişebilmektedir. Birçok malzeme pozitif Poisson oranına sahiptir. Örneğin, metalik malzemeler genel olarak 0,3 oranına sahipken, kauçuk yapıdaki malzemeler sıkıştırılamadıklarından dolayı PR değerleri 0,5'e yakındır (Lakes, 1993; Lim, 2021).

$$-1 \leq v \leq \frac{1}{D-1} \tag{2.2}$$

19 yy. başlarında malzemelerin PR değerleri ölçülmüş ve malzeme türüne göre bu değerin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bazı malzemelerin PR değerleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Konvansiyonel malzemelerin PR değerlerinin 0 ile 0,5 aralığında olduğu kabul edilir ($0<\upsilon<0,5$). Ancak auxetic malzeme olarak adlandırılan bazı malzemelerin Poisson oranı negatiftir ve teorik olarak en düşük "-1" değerini alırlar. Auxetic malzemeler de eklenince malzemelerin Poisson oranı değerleri -1 ile 0,5 aralığında olur ($-1<\upsilon<0,5$).

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin PR değerleri (Uzun, 2010)

Malzeme	Poisson Oranı
Alüminyum	0.334
Bakır	0.355
Bronz	0.140
Buz	0.330
Beton(yüksek performanslı)	0.13-0.16
Cam	0.240
Çelik (Yumuşak)	0.27-0.30
Çelik (Yüksek dayanımlı)	0.30
Epoxy Reçine	0.38-0.40
Gümüş	0.37
Kauçuk	0.48-0.50
Naylon	0.40
Kükürt	0.21-0.34
Polisitren	0.340
Porselen	0.208
PVC	0.35
Teflon	0.399
Şişe Mantarı	0
Seramik	0.290

Tek eksenli çekme veya basınç kuvveti uygulandığında yanal şekil değişimine uğramayan bir malzeme için Poisson değeri "0" olacaktır ($\upsilon=0$).

Kuvvet ekseni yönünde şekil değişimi oluyor ancak malzemenin hacmi değişmiyorsa teorik olarak Poisson oranı "0,5" olacaktır ($\upsilon=0,5$). Sıvıların PR değeri, teoride tam olarak 0,5'tir. Çünkü sıvılar sıkıştırılamazlar. Lastik, kauçuk gibi bazı malzemelerin Poisson oranları ise 0,5 değerine yakındır.

Poisson oranı 0,5 değerine yaklaşan bir malzemenin sıkıştırılabilirliği ne kadar düşük ise, şekil değiştirmesi o kadar kolaydır. $\upsilon=-1$'e yaklaşan bir malzemenin ise sıkıştırılabilirliği fazla ve şekil değiştirmesi ise zordur yani şekil değişimine karşı dirençlidir. Bu nedenle PR elastik malzemelerin kuvvet altında uğrayacağı deformasyonlar hakkında bilgi veren önemli bir sabittir.

2.2. Auxetic Malzemelerin Özellikleri

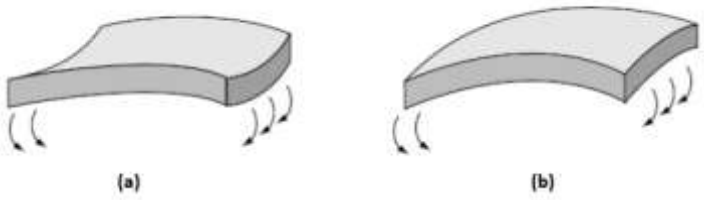
Auxetic malzemeler, pozitif Poisson oranına sahip malzemelerle karşılaştırıldıklarında önemli avantajlara sahiptirler. Bu özelliklerin başında daha iyi sürtünme dayanımı, kopma dayanımının daha iyi olması gelmektedir. Poisson oranıyla doğrudan bağlantılı

özellikler; sinklastik davranış, değişken geçirgenlik özelliği, ekstra sürtünme dayanımı, akustik davranış, üstün enerji emme (darbe, ultrasonik ve sonik), tutunma (ara yüzey/matris) dayanımı, kopma dayanımı, daha iyi kayma modülü olarak sayılabilir (Miller, Hook, Smith, Wang ve Evans, 2009).

Auxetic malzemeler; koruyucu ekipman, otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay sanayi ve ulusal savunma endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chang, Ma ve Jiang, 2017). Auxetic malzemeler üstün özelliklerinden dolayı özellikle teknik tekstillerde ihtiyaç duyulan farklı yapıdaki malzeme talebini karşılama potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, auxetic malzemelerin geometrik, statik ve dinamik özelliklerinin doğru anlaşılması, bu özellikleri belirli hedef uygulamalarda kullanmak için gereklidir.

2.2.1. Sinklastik davranış

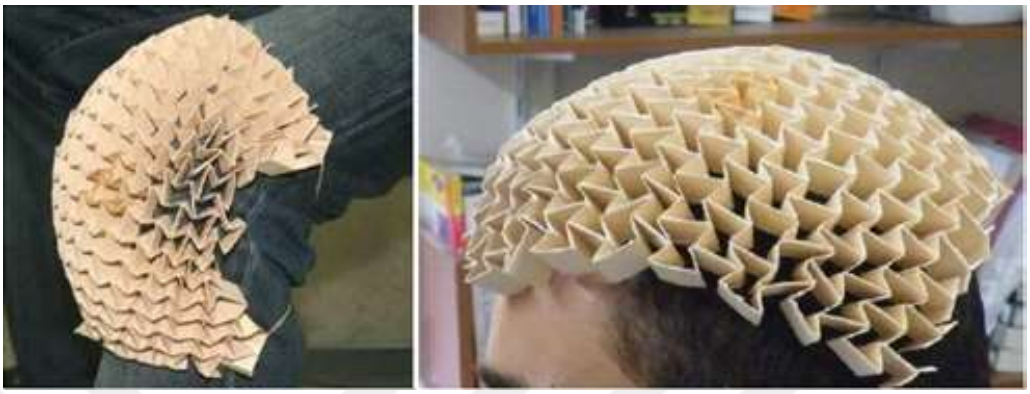
Sinklastik davranış; bir malzemenin kuvvet altında kubbe şeklinde deforme olabilmesidir. Bir cisme kuvvet uygulandığında gerilme ve kompresyon gerilmelerine maruz kalmaktadır. Auxetic malzeme uzatıldığında malzemenin genişlemesi ve sıkıştırılmış kısmın daralması sonucu bir kubbe oluşur (Şekil 2.3) (Carneiro, Meireles ve Puga, 2013).



Şekil 2.3. a) Auxetic olmayan ve **b)** auxetic malzemelerin eğrilikleri (Grima, 2010)

Konvansiyonel malzemelere kuvvet uygulandığında, yüzey antiklastik eğriliği gösterir, Antiklastik eğriliği olan eyer şekli ile karşılaştırıldığında, sinklastik eğriliği olan kubbe benzeri şeklin daha az sayıda işleme adımı ve düşük üretim maliyeti nedeniyle avantajlı olması beklenmektedir (Krishna, Saxena, Das ve Calius, 2016; Naboni ve Mirante, 2015).

Ortopedik uygulamalar için faydalı bir özellik olan sinklastik davranış Şekil 2.4'de gösterildiği gibi bacak ve kollardaki eklem bölgesinin ve başın korunması için destek görevi görecek daha hafif koruyucu aparatların üretilmesinde olanak sağlar (Can, 2017).

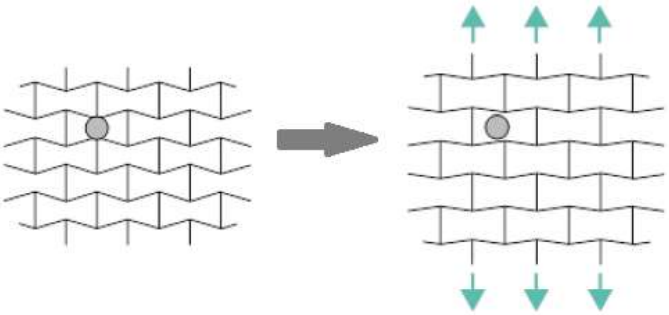


Şekil 2.4. Sinklastik davranışlı auxetic yapıların kask ve dizlik uygulamaları (Can, 2017)

Auxetic kumaşlar, doğal olarak kubbe şeklinde eğim alabildiklerinden uçak ya da roketlerin burun bölgesinde kompozit yapılarla kullanılarak rahat şekil alabilen ve dayanımı yüksek ve hafif yapılar elde edilmektedir (Aksu ve Tatlıer, 2018; Evans ve Alderson, 2000).

2.2.2. Değişken geçirgenlik

Filtre amacıyla kullanılan auxetic malzemelerde geçirgenliği kontrol etmek en önemli faktörlerden biridir. Bu malzemelere, belirli bir yönde gerilme yükü uygulandığında genişlemeden dolayı gözeneklerin boyutu artar (Şekil 2.5). Böylece kuvvet altında malzeme daha geçirgen hale gelir. Auxetic malzemelerin değişken geçirgenliği makro ölçekten nano ölçekli malzemelere kadar birçok alanda kullanılabilir (Alderson ve diğerleri, 2000; Zulifqar, Kong, Park ve Hu, 2014).



Şekil 2.5. Girintili desen yapısında değişken geçirgenliğin gerçekleşmesi (Panico, Langella ve Santulli, 2017)

Gözeneklere hapsolmuş parçacıklar filtre sistemlerinin verimliliğini azalttığından, gözeneklerin açılması etkili filtreleme için önemlidir. Auxetic yapıda filtre kuvvet altında uzatıldığında diğer yönde de genişleyecektir. Filtrelerde zamanla tıkanıklığa neden olan parçacıklar genişleme sayesinde uzaklaştırılabilmektedir. Böylece gözenek boyutunu kontrol ederek; geleneksel bir filtre ile karşılaştırıldığında, auxetic filtre yapısının etkinliği ve fonksiyonel performansı geliştirilebilir.



(a) **(b)**

Şekil 2.6. a) Konvansiyonel, **b)** auxetic membran filtre yapıları (Uzun, 2010)

Auxetic köpük ve petek yapıları gözenek boyutları ve şekilleri sayesinde gelişmiş hassaslıkta filtre üretiminde kullanılabilir. Şekil 2.6'da normal ve "auxetic" membran filtreler görülmektedir (Uzun, 2010).

2.2.3. Kesme modülü

Kesme modülü (G), nesnenin bir tarafı sabitken diğer tarafına paralel bir kuvvet uygulandığında oluşan deformasyonu belirlemek için ölçülen bir özelliktir. Kesme modülü; yapı malzemelerinde, plakalar, inşaatlardaki kirişler, arabalar, uçaklar gibi kullanım alanlarında önemlidir. Auxetic malzemelerde kesme modülünün,

konvansiyonel malzemelerden daha yüksek olması beklenmektedir (Karaca, 2016). Bu özellik; *Young modülü (E), kesme modülü (G), kütle (bulk) modülü (K) ve Poisson'un oranından (ν)* oluşan aşağıdaki denklemlerle açıklanabilir.

$$\frac{E}{G} = 2(1+\nu)$$
$$\frac{E}{K} = 3(1-2\nu) \qquad (2.3)$$

Eşitliklerden de görüldüğü üzere; Poisson oranı (ν) 0,5'e yaklaştıkça (arttıkça) kesme modülünün değeri azalır, fakat elastik modül artar. Bu durum, malzemenin kayma deformasyonuna girdiği, ancak şeklinin çok fazla değişmediği anlamına gelir. Kauçuk gibi sıkıştırılamayan malzemeler örnek verilebilir.

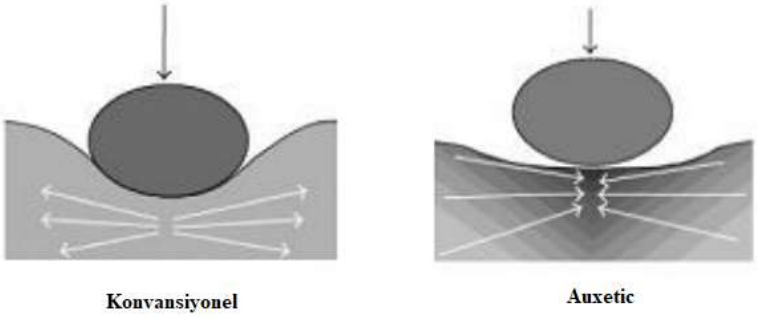
Bununla birlikte, Poisson oranı -0.5'e yakın olduğunda, kesme modülü (G) ve Young modülü (E) eşit ve kütle modülünden (K) daha yüksek bir değere sahiptir. Böyle bir malzemenin sıkıştırılması kolay, ancak kesilmesi zordur.

Poisson oranı (ν) -1'e yaklaştıkça, kesme modülü (G) değerinin sonsuza gitmesi, kesme direncinin büyük ölçüde artması demektir. Başka bir ifadeyle, kesilmesi zor fakat hacimsel deformasyona uğraması kolaydır. Bu nedenle, Poisson oranını (ν) ayarlayarak, bir yapıyı amacına göre verimli bir şekilde tasarlamak mümkündür (Hsueh ve diğerleri, 2019).

2.2.4. Girinti modülü ve enerji absorbe etme

Malzemeye kuvvet uygulandığında, basıncı azaltmak için kuvveti bölgeye dağıtma eğilimindedir. Bu durum, konvansiyonel malzemelerin etki bölgesinde yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır. Auxetic malzemeler, kuvvet uygulandığı bölgelerde sıkıştığından ve daha yüksek yoğunluklu bölgelere sahip olacağından girinti (indentation) direncinde artışa neden olur. İndentasyon direnci sayesinde auxetic malzemeler şok emilimin önemli olduğu uygulamada kullanılabilir (Liu, 2006; Carneiro ve diğerleri, 2013; Karaca, 2016; Hu, Zhou ve Deng, 2019).

Auxetic malzemeye bir cisim tarafından kuvvet uygulandığında, kuvvet yanal olarak iletilmekte ve girinti azaltılmaktadır (Evans ve Alderson, 2000). Darbe emici özellik sayesinde koltuk, minder gibi malzemelerde zamanla oluşan çökme etkisi önlenebilmektedir (Şekil 2.7). Yüksek girinti direnci ve düşük Young modülüne sahip malzemeler koruyucu malzeme olarak da kullanılabilmektedir (Duncan ve diğerleri, 2018).



Şekil 2.7. Auxetic ve konvansiyonel malzemelere kuvvet uygulandığında kuvvetin yanal olarak iletilmesi (Panico, Langella ve Santulli, 2017)

Girinti direncindeki artış, esneklik teorisi ile belirlenebilir. Girinti direnci; malzeme sertliği (H) ile ilişkilidir. *(E: Young modülü, v: Poisson değeri, γ: basıncın düzgün ya da değişken olmasında göre 2/3 ile 1 arasında değişen sabit değer)* 3 boyutlu malzemeler için; Poisson oranı -1'e yaklaştıkça malzeme sertliğinin sonsuza ulaştığı görülmektedir. Poisson değeri 0,5'e yaklaştıkça sertlik değeri azalmaktadır (Carneiro ve diğerleri, 2013).

$$H\alpha\left[\frac{E}{(1-\nu^2)}\right]^{\gamma} \qquad (2.4)$$

Hu ve ark (2019), balpeteği örgü yapısındaki auxetic malzemenin girinti direncini incelemiştir. Numuneye uygulanan kuvvetin ve PR değerinin indentasyon direncine etkisini modellemeler üzerinden hesaplamışlardır. Malzemenin PR değeri azaldıkça ve kuvvet uygulama hızı arttıkça direncin arttığı aktarılmıştır (Hu, Zhou ve Deng, 2019).

Düşük Poisson oranlı kumaşlara boyuna yönlü kuvvet uygulandığında enine yönde daralmanın az olması, hatta auxetic kumaşlarda enine yönlü genişlemeler nedeniyle, malzemeye uygulanan kuvvet yanal olarak iletilmekte ve darbe sönümleme etkisi oluşmaktadır (Evans ve Alderson, 2000).

Auxetic kumaşlar, darbe emiciliği özellikleri sayesinde koruyucu tekstil ürünü olarak kurşun geçirmez yelek ve patlama etkilerine dayanıklı perde üretiminde kullanılmaktadır. Aynı amaçla emniyet kemerlerinde de kullanılması mümkündür. Ayrıca yine darbe emici özelliği sayesinde jeotekstil olarak toprak altında destekleyici malzeme olarak da kullanılabilir. Özellikle araç-tren yolu, duvar ve köprü destekleyicisi olarak kullanımı önemli gelişmelerden olabilir. Güvenlik amaçlı perde üretimi üzerinde yapılan çalışmalarda, auxetic yapıdaki perde örtüldüğünde (gerildiğinde) kalınlaşmakta ve patlama esnasında darbeyi sönümlemektedir (Çukul, 2013).

Kompozit yapılarda destek malzemesi olarak kumaş kullanımının mukavemeti arttırıcı etkisi bulunmaktadır. Kumaş yapısı seçiminde enerji absorbe etme kapasitesine sahip auxetic kumaş kullanımı, mukavemeti daha da arttırmaktadır. Asad ve diğerleri (2019), beton yapılarda destek malzemesi olarak auxetic kumaş kullanımının mukavemet üzerindeki etkisini araştırmıştır. Auxetic (υ= -2,17) ve konvansiyonel (υ= 0,23) karbon kumaşlarla farklı beton numuneleri üretilerek dört nokta eğilme testi uygulanmıştır. Düşük Poisson oranlı auxetic numunelerin mukavemet değerlerinin daha fazla olduğu aktarılmıştır (Asad, Dhanasekar, Zahra ve Thambiratnam, 2019).

Auxetic malzemeler; kask, spor giysiler gibi enerji absorbe edilmesi gereken yerlerde kompozit olarak kullanılmaktadır. Ayrıca biyomedikal, otomotiv endüstrisi ve savunma sanayi gibi birçok alanda potansiyel kullanım alanları mevcuttur (Darja, Tatjana ve Alenka, 2013).

2.2.5. Kırılma direnci

Kırılma direnci (tokluğu) bir malzemedeki çatlağın yayılması için gerekli enerji miktarıdır. Yapılan araştırmalar, auxetic malzemede bir çatlağın yayılması için daha fazla enerji gerektirdiğini ve Poisson oranı değiştikçe tokluğun değiştirilebileceğini ve bu nedenle Poisson oranı -1'e yaklaşırsa malzemenin çok sertleştiğini göstermektedir (Evans ve Alderson, 2000; Mazaev, Ajeneza ve Shitikova, 2020).

Auxetic malzemeler, çatlak yayılımının düşük olmasına ve malzemeleri genişletmek için daha fazla enerjiye gerek duyulmasına neden olur. Kritik çekme gerilimi denklemine göre; Poisson oranı değiştikçe kırılma tokluğu değişmektedir ve Poisson oranı -1'e yaklaşırsa malzeme çok sertleşmektedir.

$$\sigma = \left[\frac{\pi ET}{2r(1-v^2)}\right]^{1/2} \qquad (2.5)$$

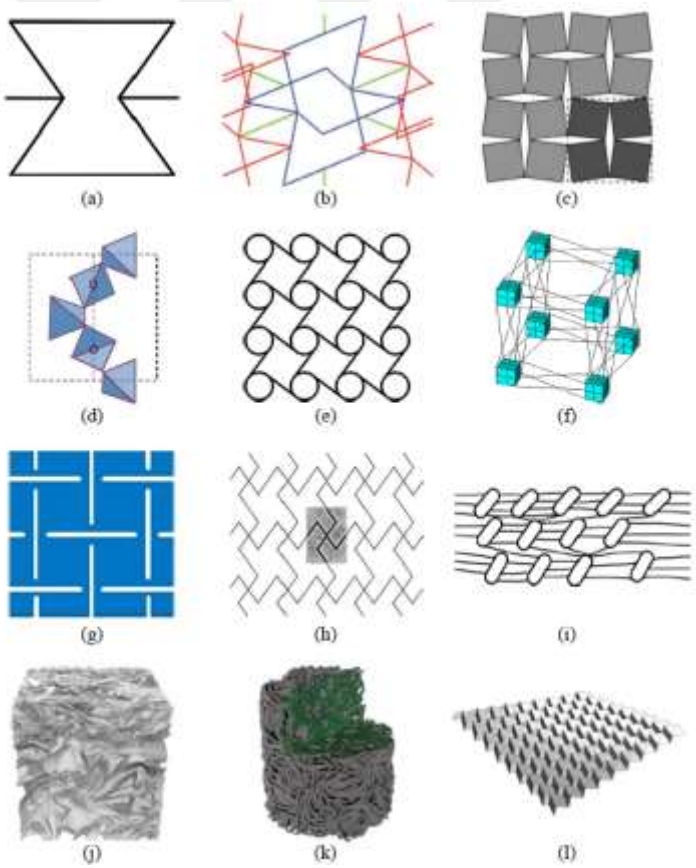
Kritik çekme gerilimi denkleminde; *E: Young modülü, T: yüzey gerilimi, r: düzlem dairesel çatlak yarıçapını* ifade etmektedir.

2.3. Auxetic Yapılar

Doğada auxetic malzemelerin varlığını öne süren ilk deneysel çalışma 1882 yılında Poisson'un oranı -0.14 olarak hesaplanan demir pirit monokristalleri için yapılmıştır. Doğal auxetic materyallerin diğer örnekleri a-kristobalit, pirolitik grafit, polimorfik silikonlar, zeolitler, silikatlar ve kristal kadmiyumdur. Doğada sınırlı sayıda auxetic malzeme bulunduğundan, geniş bir uygulama yelpazesi için auxetic yapıların geliştirilmesine yönelik yoğun bir çaba harcanmıştır. Birçok araştırmacı auxetic davranış sağlayan; girintili-çıkıntılı (re-entrant) yapılar, döner üniteler, kiral yapılar, fibril – modül yapılar, katlanır yapılar, sarmal iplik ve buruşturulmuş yapılar gibi yeni mekanizmalar araştırmıştır (Carneiro ve diğerleri, 2013).

Doğal olan auxetic malzemelere; arsenik kristali, kadminyum kristali, α-cristobalite ve birçok kübik element örnek olarak verilebilir. Ayrıca kedi derisi, semender derisi, inek meme derisi gibi bazı biyolojik malzemeler de doğal olarak auxetic özelliğe sahiptir (Karaca, 2016).

Makro yapıda çeşitli desenlerde auxetic yapılar üretilmektedir (Şekil 2.8). Auxetic davranışın derecesi ve ilgili malzeme özellikleri büyük ölçüde deformasyon mekanizmasına bağlıdır. Bu nedenle, deformasyon mekanizmalarına veya yapısal desenlerine bağlı olarak auxetic yapılar sınıflandırılmaktadır. Her bir auxetic yapıya göre farklılık gösteren deformasyon mekanizmalarının veya yapılarının anlaşılması ve araştırılması, mühendislik ve bilimdeki çeşitli potansiyel uygulamalar için auxetic malzemelerin tasarımında ve kullanımında önemlidir.



Şekil 2.8. Auxetic yapılar: **a)** girintili-çıkıntılı, **b)** üç boyutlu girintili-çıkıntılı, **c)** döner yapılar, **d)** 3D dönerli yapılar, **e)** kiral örgü yapısı, **f)** 3D kiral örgü yapısı, **g)** delikli levha, **h)** kayıp rib modeli, **i)** fibril-nodül, **j)** buruşuk levha tipi yapı, **k)** dolaşık tel tipi, **l)** Miura-ori katlı örgü yapısı (Mazaev ve diğerleri, 2020)

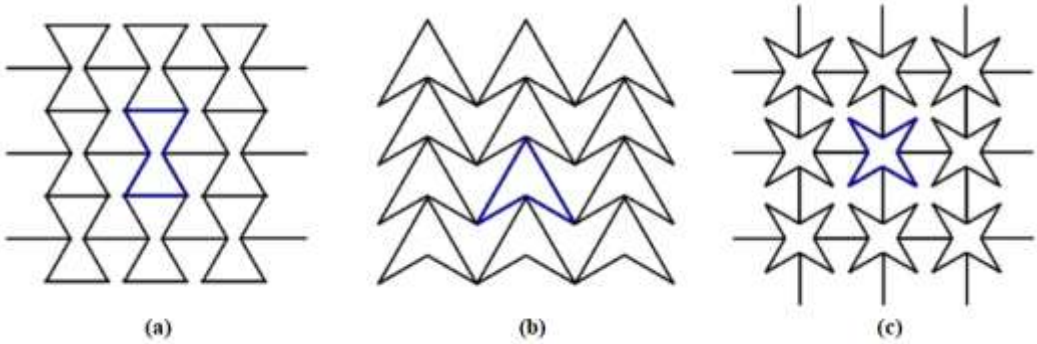
Lim (2021), sekiz köşeli yıldız şeklindeki geometrik modellerden esinlenerek iki boyutlu izotropik malzemelere ait en düşük PR değeri olan "-1"in teorik olarak elde edilebileceğini aktarmıştır. Bunun için, tarihi mekânlardaki geometrik desenleri (Şekil 2.9) modelleyerek PR değerlerini hesaplamıştır (Lim, 2021).



Şekil 2.9. Farklı tarihi eserlerde bulunan auxetic desen yapıları: **a)** İran'ın Khargird kentindeki Ghiyathiyya medresesi, **b)** El Hamra Sarayı/İspanya, **c)** Taj Mahal, Agra/Hindistan (Lim, 2021)

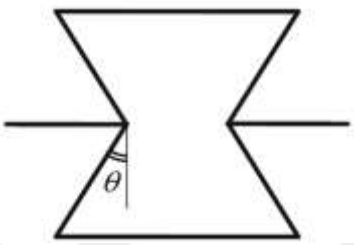
2.3.1. Girintili yapılar

En yaygın auxetic malzeme türü girintili (re-entrant) auxetic yapılardır (Grimmelsmann, Meissner ve Ehrmann, 2016; Chang ve Ma, 2018). Basitçe, ince çubuk ve bağlantı menteşelerinden bulunduğu kafes yapılarından oluşurlar. Örneğin, Şekil 2.10.a'da gösterilen re-entrant petek yapısı, altıgen şeklin iki karşılıklı köşesinin birim hücrenin içine doğru yönlendiği bir kafes yapıdır. Girintili yapılara bir gerilme yükü uygulandığında; yan yüzeydeki kollar açılır ve tepe noktası birim hücreden dışarı doğru hareket eder. Bu yanal deformasyon, komşu hücrelere iletilir ve dikey hücreleri genişletmek için yakındaki hücreleri iter. Böylece yanal genişleme sağlanır. Auxetic re-entrant yapılarının tipik örnekleri balpeteği, okbaşı ve yıldız yapılarıdır (Şekil 2.10) (Hsueh ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.10. Auxetic şekil yapıları: **a)** balpeteği, **b)** okbaşı, **c)** yıldız (Kim, Son ve Lee, 2021)

Şekil 2.11'de gösterilen bal peteği yapıda Θ açısı pozitif ise malzeme auxetic, negatif ise konvansiyonel yapıdadır.



Şekil 2.11. Balpeteği birim yapısı

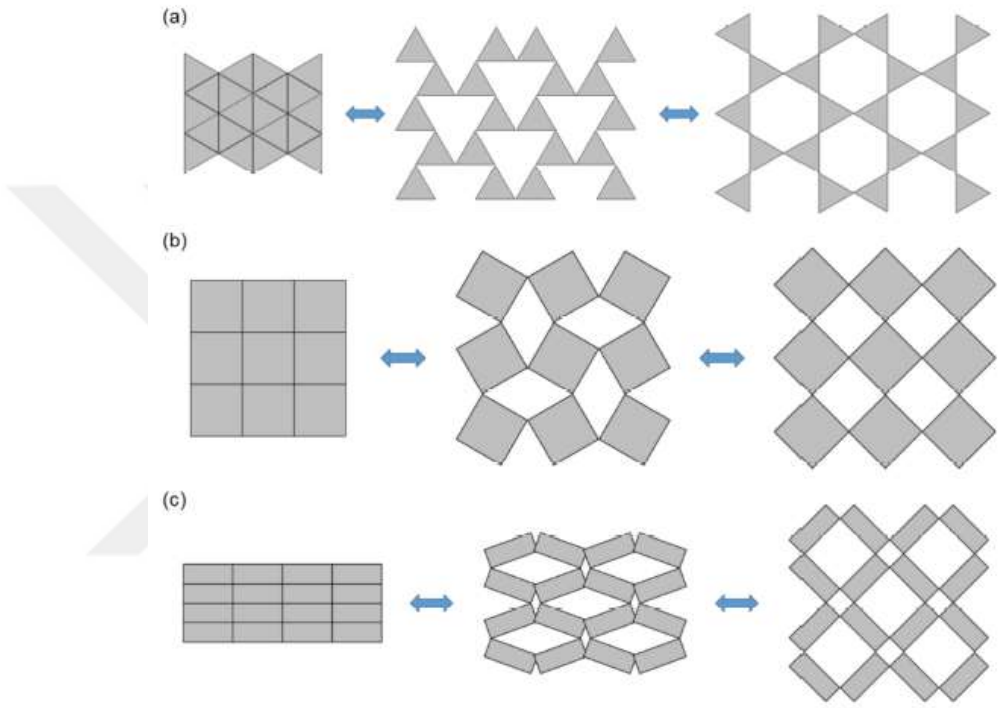
Smith, Grima ve Ewans, balpeteği birim yapısıyla Poisson oranı arasındaki denklemi tanımlamıştır. Denklemde, *h: birim yapının eninin yarısını, l: eğimli bölümün uzunluğunu, t: malzemenin kalınlığını* göstermektedir (Smith, Grima ve Evans, 2000).

$$v_{12} = \frac{\sin\theta(h/l + \sin\theta)}{\cos^2\theta} \qquad (2.6)$$

Ok başı birim hücresi; girintili tabanlı, ikizkenar üçgen bir kafes yapıdır. Yapıya bir gerilme yükü uygulandığında, yükler kenarlara aktarılarak yana doğru açılma gerçekleşir. Girintili yıldız yapıları, üç, dört veya altı uçlu yıldız şeklindeki birim hücrelerden oluşabilmektedir. Bu yapılara kuvvet uygulandığında da birim hücre komşu hücreleri dışarı doğru iterek yanal genişleme sağlanır. Tüm girintili yapılarda; birim hücreler maksimum açıldıktan sonra auxetic etki azalmakta ve PR artmaktadır.

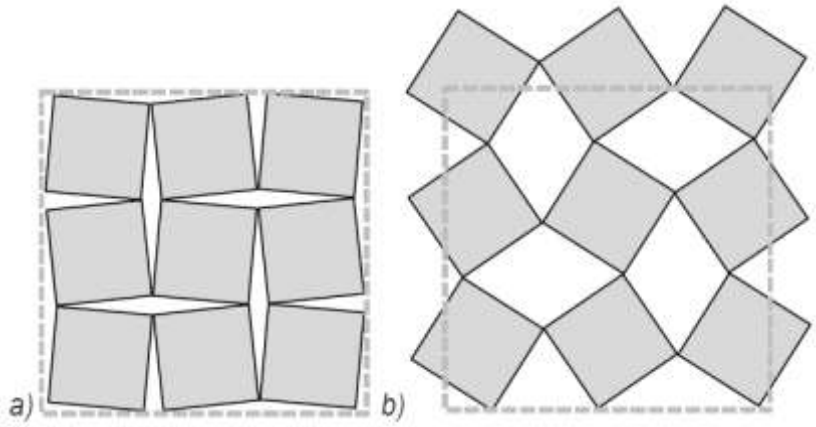
2.3.2. Döner yapılar

Dönen mekanizmaya sahip yapılar menteşelerle bağlanan rijit birimlerden oluşur. Rijit üniteler, belirli bir kurala göre düzenlenir ve yan yana gelen komşu birimler birbirlerini ters yönde çevirirler. Bu tarz yapılara tipik bir örnek, dönen karelerdir. Rijit kare birimleri uzunlamasına ve yanal yönlerde yerleştirilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Döner yapılar: **a)** üçgen, **b)** kare, **c)** dikdörtgen (Kim ve diğerleri, 2021)

Çekme kuvvetiyle üniteler, komşu birimlerinin karşısında saat yönünde veya saat yönünün tersine döner. Birimler menteşelere kıyasla sert ve zor deforme olduğundan ünitelerin lokal olarak dönmesi menteşelerde yanal harekete ve yanal genişlemeye neden olur (Şekil 2.13).



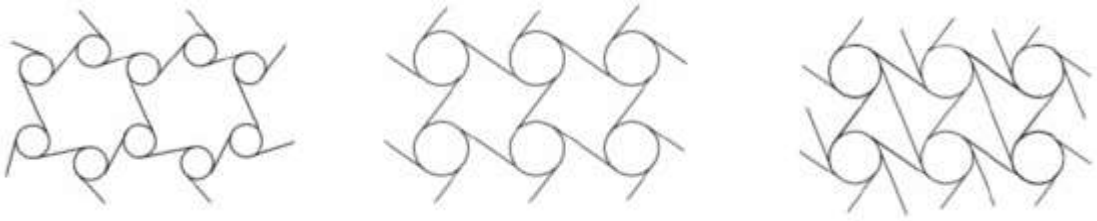
Şekil 2.13. Döner yapıların **a)** başlangıç, **b)** yük altında deformasyonu (Novak, Vesenjak ve Ren, 2016)

Dönen kare birim yapısı, çeşitli 2D birim yapılarını oluşturmak için kullanılabilen, döner motifli en basit 2D yapıdır. Döner üniteyi iki veya daha fazla farklı tür ünite ile değiştirmek de (trans-dikdörtgen, iki-kare vb.) mümkündür. Bu heterojen dönen birim yapıların temsili örnekleri, trans-dikdörtgen ve iki-kare birim yapılardır. Bir ünitede dört menteşe noktasına sahip dörtgen ünite yapılarına ek olarak, üç menteşe noktasına sahip üçgen bir ünite kullanan 2D dönen yapılar da geliştirilmiştir.

Özellikle, ikiden fazla türden oluşan heterojen döner birim yapıları, temelde sınırsız tasarım varyasyonlarının yanı sıra birçok avantaja sahiptir. Dönen birim yapılar diğer yapılardan farklı olarak çok düşük gözenekliliğe sahiptirler. Yük altında kararlı bir şekilde davranış sergiledikleri için bası yüklerle ilgili uygulamalarda kullanılır. Bununla birlikte, birimler sert olduğu için önemli ölçüde deforme olmazlar (Hsueh ve diğerleri, 2019).

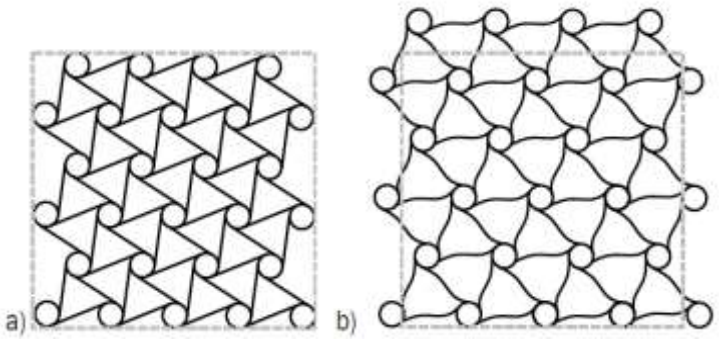
2.3.3. Kiral yapılar

Kiral (chiral) yapıların birim daireleri; üç, dört veya beşli düzende dairesel birimlerin etrafında yerleştirilmektedir (Şekil 2.14). Kiral yapıya yük uygulandığında, aralardaki bağlantılar vasıtasıyla yük dairesel birimlere aktarılır ve bir dönme momenti oluşur. Daire belirli bir yönde döner ve aralardaki bağlantılar sayesinde bitişik dairesel birimleri çeker veya iter.



Şekil 2.14. Kiral yapılar (Grima, 2010)

Yük uygulandıktan sonra, birim daireyi çevreleyen bağlantıların yönü, birim dairenin dönüş yönüne bağlıdır. Bu nedenle, kiral yapıların bütün dairesel birimleri aynı yönde dönmektedir (Şekil 2.15), ancak anti-kiral yapıların dairesel birimleri, komşu birimlerinin tersi yönde dönmektedir. Üçgenin üç birimini farklı yönlerde döndürmek mümkün olmadığından üçgen için anti-kiral düzen mümkün değildir.

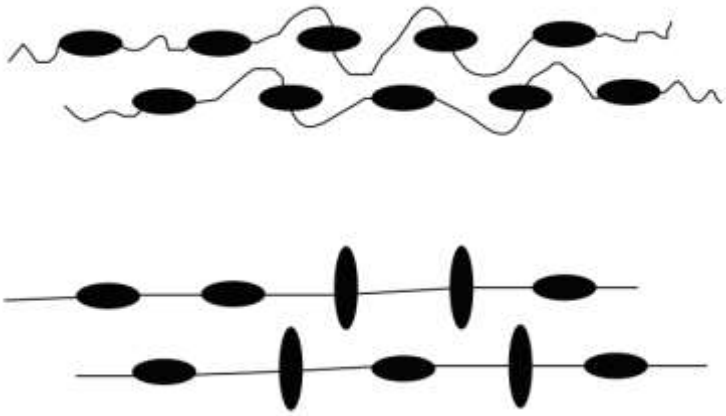


Şekil 2.15. Kiral yapıların; **a)** başlangıç, **b)** yük altında görünümü (Novak ve diğerleri, 2016)

Kiral yapıların yüksek gözenekliliği, yapının hafif olmasına izin verir, ancak dayanıklılığı ve stabilitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Ayrıca geometrik yapısı nedeniyle kiral yapılar, girintili ve döner yapıların aksine, sınırlı yapısal çeşitliliğe ve dar bir tasarım alanına sahiptir (Hsueh ve diğerleri, 2019)

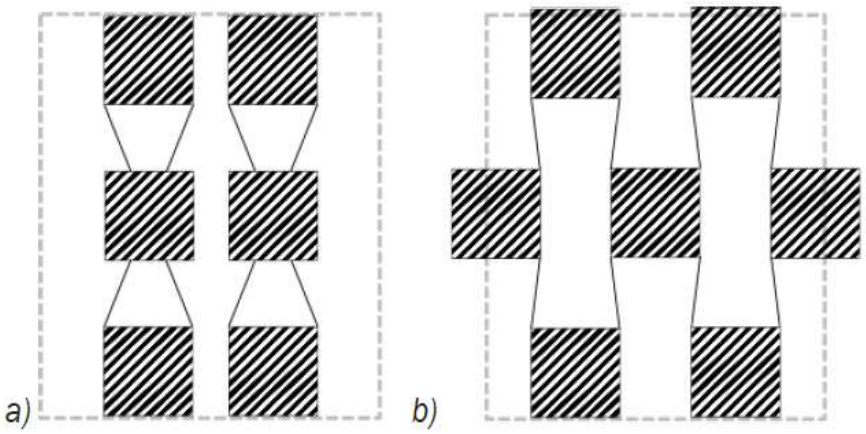
2.3.4. Fibril – Nodül yapılar

Fibriller nodül ünitelerine bağlanır, kuvvet uygulanmadığında nodül üniteleri ile fibriller ile iç içe geçer. Gerilme yükü uygulandığında yük, fibrilleri düzeltir ve nodül birimlerini diğer yönde iterek aradaki mesafeyi arttırır. Böylece yanal genişleme sağlanarak auxetic yapı oluşur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Fibril – nodül yapılar (Mir, Ali, Sami ve Ansari, 2014)

Fibril ve nodül yapılar; bağlantı şekline göre demet tipi ve ağ tipi olmak üzere ikiye ayrılır. Demet tipi fibril/nodül yapıları demetler halinde fibril/nodül zincirlerinden oluşur. Her bir zincir, fibrillerle birbirine bağlı anizotropik nodüle sahiptir. Yük, fibrillerin gerilmesine neden olur ve nodüller arasındaki mesafe genişler. Bir nodül biriminin birkaç fibrile bağlı olduğu yapılar ağ tipi yapılardır. Ağ tipi yapılara gerilim uygulandığında, iç içe fibriller, üst üste binen nodülleri birbirinden uzaklaştırır (Şekil 2.17). Böylece tüm yönlerde genişleme meydana gelir. Fibril/nodül mekanizmaları; sadece gerildiğinde bir negatif PR elde edilir (Hsueh ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.17. Fibril-nodül yapıların; **a)** başlangıç, **b)** yük altında deformasyonu (Novak ve diğerleri, 2016)

2.3.5. Katlanır yapılar

Katlanır (foldable) yapılarda iç ve dış bükey yapılar ortaya çıkmaktadır. Gerilme yükü uygulandığında; üst üste binen yapı katlama çizgilerinden açılır ve yapı genişler. Katlama açısını ayarlayarak yapıların şeklini, yüksekliğini ve PR değeri kontrol edilebilir.

Örme kumaşlarda kullanılan katlanır yapılar; yük altında yanal genişlemekte, relakse edildiğinde düz ilmekler ters ilmekleri kapatarak daraltmakta ve kumaşın iki katı kadar kalın olmasını sağlamaktadır. Kare, baklava, zigzag vb. olmak üzere farklı örgü yapılarında katlanır örgüler üretilebilmektedir (Şekil 2.18) (Čuden ve Rant, 2017).



Şekil 2.18. Farklı örgü yapısında katlanır örgüler (Čuden ve Rant, 2017)

Ayakkabı tasarımcılar daha düşük ağırlıkta maksimum dayanım sağlamak amacıyla katlanır yapılardan faydalanmaktadır. Bu amaçla biomimetik yaklaşımlarla ürün gelişimi çalışmaları yapılmakta ve ananas bitkisinin esnek ve genişleyebilen yapısı tekstil üretimi için kullanılmaktadır (O'Mahony ve Braddock, 2002).

2.3.6. Burkulmaya bağlı mekanizmalar

Burkulmaya bağlı mekanizma, dairesel desenlerin dikey ve yatay yönlerde düzenli aralıklarla yerleştirildiği yapılardır. Basit geometrilerine rağmen, bu yapılar yük büyüklüğüne bağlı olarak farklı davranış sergiler. Küçük gerilme aralıklarında, yerleştirilen dairelerin simetrisi nedeniyle elastik deformasyona uğrar. Kuvvet arttıkça doğrusal olmama durumunun görüldüğü bükülme fazına geçer. Daire desenleri arasındaki ince kısım, uygulanan sıkıştırma yüküyle bükülür. Sonuç olarak, daireler elips haline gelerek uzunlamasına ve yanal yönlerde genişler.

Auxetic etki burkulma ile oluştuğundan burkulmaya bağlı auxetic yapılar sadece uygulanan sıkıştırma kuvveti kritik bir değerden büyük olduğunda negatif Poisson oranına sahiptir. Ek olarak, başlangıçta auxetic davranış sergileyen diğer mekanizmalardan farklı olarak, başlangıç şeklinde veya küçük gerilme aralıklarında auxetic etki göstermez. Bu işlemde tüm yapı sadece sıkıştırma kuvveti yönünde değil, aynı zamanda yanal yönde de küçülür ve negatif Poisson oranı ile sonuçlanır. Burkulma sonrası aşamada, yük daha da arttırılana ve sıkıştırma ilerleyene kadar auxetic durum devam eder (Hsueh ve diğerleri, 2019).

2.4. Auxetic Tekstil Malzemesi Üretim Yöntemleri

Auxetic tekstil ürünleri; auxetic lifler, iplikler ve kumaşlar olarak sınıflandırılabilir. 1987 yılından beri polyester, poliüretan gibi konvansiyonel polimerik malzemeler basınç, ısıtma, kimyasal işlem vb. ile auxetic köpüğe-süngere dönüştürülebilmektedir. Auxetic polimerlerin moleküler dizayn ile de sentezlenebileceği gösterilmiştir (Hu, Zhang ve Liu, 2019). 2002 yılında Alderson ve diğerleri modifiye bir eriyikten çekim prosesi ile ilk auxetic polipropileni üretmiştir. 2005 yılında Ravirala ve arkadaşları auxetic polyester ve poliamid lifler üretmiştir (Ravirala, Alderson, Alderson ve Davies, 2005).

Konvansiyonel ipliklerden auxetic özellikte iplikler üretilebilmektedir. Auxetic iplikler kullanılarak doğrudan auxetic kumaş elde edilebileceği gibi, özel örgü yapıları ile

konvansiyonel ipliklerle kumaş üretim tekniği de uygulanmaktadır. Özellikle dokuma kumaş üretiminde auxetic iplik kullanımı daha yaygındır (Lolaki ve Shanbeh, 2019).

Günümüze kadar; dokuma, örme, dokusuz yüzey kumaşlar ve braiding ve 3D baskı gibi diğer yöntemlerle auxetic ürün geliştirilmiş ve üretilmiştir. Bu bölümde literatürde auxetic iplikler, auxetic dokuma kumaşlar, auxetic kompozitler ve auxetic örme kumaşlar hakkında yapılan çalışmalar başlıklar halinde incelenmiştir.

2.4.1. Auxetic iplik üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar

Hacimli ve elastik yapıdaki ipliğin etrafına rijit ve ince bir iplik sarılarak ipliğin birbiri üzerinde dolandırılmasıyla auxetic iplik üretilebilmektedir. Başlangıçta elastik iplik merkezde, rijit iplik etrafına sarılmış durumdadır. İpliğe kuvvet uygulandığında, rijit iplik merkeze konumlanırken, hacimli yapıdaki elastik iplik rijit ipliğin etrafında dolanmaktadır. Esnek ve hacimli iplik uzamakta fakat rijit iplik uzayamamaktadır. Bunun neticesinde rijit iplik merkezde konumlanırken elastik iplik onun etrafında yer almaktadır. Sonuç olarak ilk duruma göre ipliğin eninde artma meydana gelmekte ve negatif PR oluşmaktadır (Hook, 2011; Lim, 2015).

İpliğin PR değerini etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bunlar; rijit iplik yarıçapı, elastik iplik yarıçapı ve sarım açısıdır (Sibal ve Rawal, 2015). Literatürde; hammadde, ipliğin modül değeri, numara, kat sarım açısı gibi parametrelerin PR değerine etkilerinin ölçüldüğü çalışmalar mevcuttur. Genel olarak sarım açısının ve merkez ipliğin sarım ipliğe göre çapının oranının PR değeri üzerinde etkili olduğu, sarım açısı azaldıkça Poisson değerinin de azaldığı aktarılmaktadır. Elastik ve rijit iplikler arasındaki sürtünme miktarı arttıkça auxetic etkinin azaldığı, bu nedenle düşük PR elde edilebilmesi için sürtünmenin azaltılması gerektiği bildirilmiştir. Hacimli ipliğin daha kalın olması, daha yüksek modüllü ince iplik kullanımının PR değerini azalttığı ifade edilmiştir (Sloan ve diğerleri, 2011; McAfee ve Faisal, 2017; Zeng ve diğerleri, 2018; Chen ve Du, 2020).

Hook (2011) auxetic ipliklerle kumaş üretimiyle ilgili patent çalışmasında, iplik sarım açısı, iplik çapı, iplik hammaddesi ve gözenek boyutu değiştirilerek üretilecek farklı yapıda filtre kumaşlarının üretilmesini açıklamıştır. Filtre kumaşlarına gerilim uygulanarak gözenekler genişletilerek tıkanmaların önüne geçileceği, böylece filtre değişiminin azaltılacağını açıklamıştır. Bu tür filtrelerin endüstriyel amaçlı olarak, tıbbi filtrelerde ve otomotiv filtreleri olarak kullanılabileceği aktarılmaktadır. Antibakteriyel, mantar oluşumunu engelleyici ajanlar veya deodorant – parfüm gibi malzemelerin auxetic kumaş tarafından gerilim esnasında oluşan açıklıktan kontrollü bir şekilde salınımın sağlanacağı da açıklanmaktadır (Hook, 2011).

Auxetic iplik üretimi için farklı bir yaklaşım da nem aldığında kısalma eğiliminde olan ipliklerin kullanılmasıdır. Başlangıçta elastik ipliğin üzerine sarılan iplik neme duyarlı, nem aldığında %10-20 aralığında kısalma eğilimi gösteren pamuk ve rayon türevi malzemelerden seçilmiştir. Böylece kumaşın ıslanması durumunda rijit iplik kısalarak merkeze konumlanacağı, elastik ipliğin ise onun etrafında sarılarak hacimli ve gözenekli yapı elde edileceği açıklanmıştır (Lee, Lee ve Heo, 2011).

Sloan (2011), auxetic iplik üretiminde; iplik kalınlığı, modülü, sarım açısı ve uygulanan yük gibi Poisson oranını etkileyecek faktörleri incelemiştir. Elastik yapıdaki hacimli iplik (poliüretan 0,6 mm çap) üzerine daha rijit yapıdaki başka bir ipliğin (poliamid 0,11-0,13-0,15 mm çap) belirli açılarla sarılmasıyla auxetic yapıda iplikler üretilmiştir. İpliklere yük uygulandığında, dışarıda yer alan rijit iplik merkezde konumlanarak elastik iplik etrafında dolanmakta ve ilk duruma göre toplamda iplik çapında artış görüldüğü aktarılmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Heliksel auxetic ipliğin **a)** gerilimsiz ve **b)** yük altındaki görünümü (Ng ve Hu, 2017).

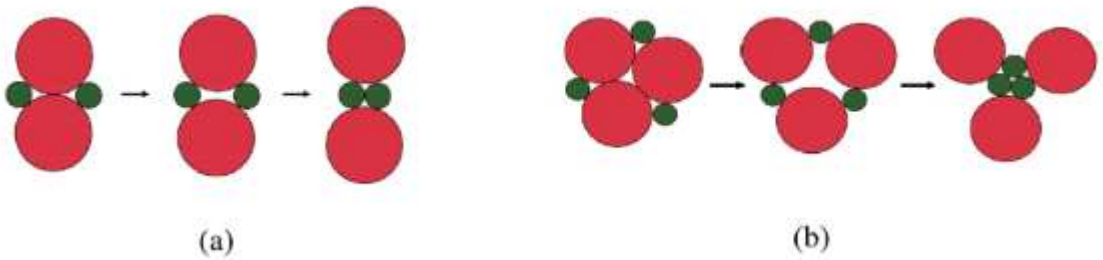
Sloan ve diğerleri (2011), auxetic ipliklere, “çene mesafesi x 0,1 / dk” hızla kuvvet uygulamıştır. Görüntüler kamerayla kaydedildikten sonra görüntü işleme programıyla en ve boy yönündeki değişimler kaydedilmiştir ve ipliklerin Poisson oranları hesaplanmıştır. Poliamid ipliğin Poisson oranı 2, poliüretanın 0,34-0,74 arasında olmasında rağmen iki ipliğin birleştirilmesiyle oluşturulan auxetic ipliğin Poisson oranı -2,79 değerine kadar ulaşmıştır. Sonuç olarak, sarım açısının ve merkez ipliğin sarım ipliğe göre çapının oranının PR değeri üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Sloan, Wright ve Evans, 2011).

Elastik ve rijit yapıdaki ipliklerin birbiri üzerine katlanması sonucu elde edilen auxetic ipliklerin tutarsız, kıvrılmaya eğilimli bir yapıda olması, kumaş oluşumundan sorunlara yol açabilmektedir. Zhang ve diğerleri (2015), bu problemi çözebilmek üzere üç bileşen iplik yapısı olarak tasarladıkları çalışmalarında merkezde elastik ipliğin üzerine rijit yapıda iplik sarılmasının ardından üçüncü bileşen olarak iplikleri kaplamıştır. Kaplama sayesinde; cam, karbon gibi kırılgan yapıdaki ipliklerin sarım ipliği olarak kullanılması durumunda deformasyonun önlenmesi de hedeflenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda kaplamalı ipliklerin auxetic yapıda olduğu fakat kaplama kalınlığı arttıkça etkinin azaldığı açıklanmıştır (Zhang, Ghita ve Evans, 2015).

Ge, Hu ve Liu (2016), iki rijit ve iki elastik yapıdaki ipliklerin birbiri üzerine sarılmasıyla üretilen auxetic ipliklerin farklı sarım tiplerindeki davranışlarını incelemiştir. Dönme silindir hızı, iplik çekim hızı, iplik numaraları ve ipliklerin yerleşim yerleri değiştirilerek farklı numuneler üretilmiştir. Rijit iplik olarak 0,18 mm çapında poliamid ve 0,78 mm çapında polyester iplik, elastik iplik olarak da 1,02 ve 2,04 mm çapında spandex iplik kullanılmıştır. 250 mm çene mesafesinde 50 mm/dk hızla kuvvet uygulanan numunelerin en ve boy yönlü değişimleri için 3 sn aralıklarla fotoğrafları çekilerek Poisson oranı değişimleri ölçülmüştür. Üretilen numunelerin negatif Poisson oranına sahip olduğu belirtilmiştir (Ge, Hu ve Liu, 2016).

Ng ve Hu (2017), heliksel yapıda (Şekil 2.20) 4 ve 6 katlı iplikleri farklı iplik numarası, ipliklerin yerleşimi ve sarım açısı gibi farklı üretim parametrelerinde üretip Poisson oranını ölçmüştür. Bu amaçla esnek ve hacimli iplik olarak; polyester kaplı kauçuk, rijit

iplik olarak da monofilament polyester tercih edilmiştir. 4 katlı iplik yapılarında daha düşük Poisson değerinin elde edildiği aktarılmıştır (Ng ve Hu, 2017).



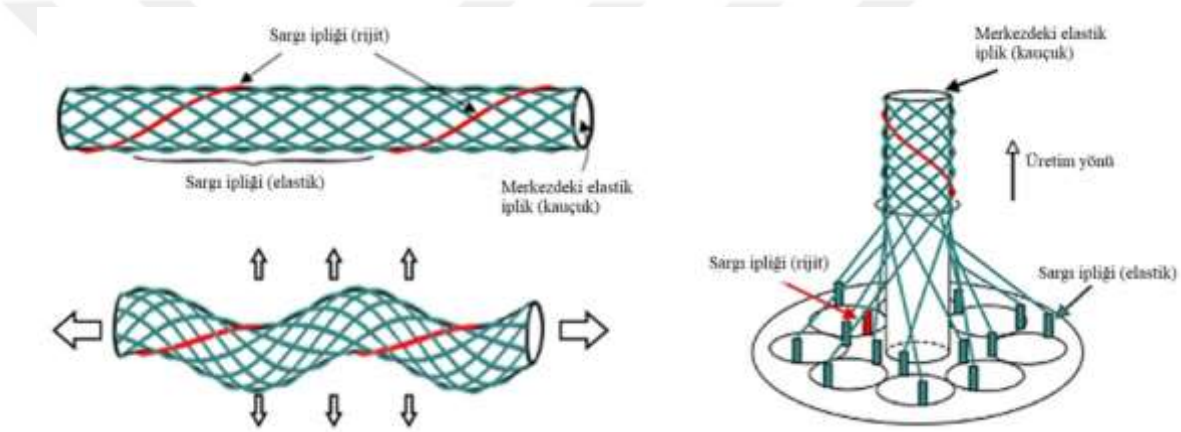
Şekil 2.20. Heliksel auxetic iplikler **a)** 4 katlı, **b)** 6 katlı (Ng ve Hu, 2017)

McAfee ve Faisal (2017), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak auxetic iplik üretiminde optimum parametreleri araştırmıştır. İpliklerin çapları arasındaki oranın ve sarım açısının Poisson oranına etkisini inceleyerek, en yüksek auxetic etkinin elde edildiği sarım açısının 7^0 ve minimum Poisson değerinin -12,04 olduğu aktarılmıştır (McAfee ve Faisal, 2017).

Zeng, Cao ve Hu (2018) auxetic ipliklerdeki sarım açısı ve sürtünme miktarlarının Poisson değerine etkisini; sonlu elamanlar modeli yöntemiyle, yapının geometrik analizleriyle ve deneylerle ölçüm sonucu elde edilen değerler karşılaştırmıştır. Uygulanan kuvvet miktarı arttıkça simülasyon ile geometrik model sonuçlarının yakın olduğu ve ölçülen PR değerlerinden negatif olarak daha yüksek değerler elde edildiği aktarılmıştır. Elastik ve rijit iplikler arasındaki sürtünme miktarı arttıkça auxetic etkinin azaldığı, bu nedenle düşük Poisson oranının elde edilebilmesi için sürtünmenin azaltılması gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca, elastik ve rijit ipliklerin modül değerleri arasındaki oranın arttıkça auxetic etkinin arttığı açıklanmıştır (Zeng ve diğerleri, 2018).

Shen ve Adanur (2019), poliüretan ipliğin üzerine polyester monofilament iplik sararak auxetic iplik üretmiştir. Ardından, auxetic iplikler kullanılarak braiding makinesinde numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunelerdeki porozitenin değişmesi nedeniyle hava geçirgenliğinin değiştiği, yapının geçirgenliğinin farklı seviyelerde gerilme kuvveti uygulanarak değiştirilebileceği açıklanmıştır (Shen ve Adanur, 2019).

Jiang ve Hu (2019), heliksel auxetic ipliklerin (HAY) kaymalar neticesinde stabil bir yapıda olmamaları nedeniyle braid auxetic iplik (BAY) geliştirmiştir. Merkezde hacimli ve elastik ipliğin yer aldığı, etrafında elastik ipliklerin ve rijit ipliğin sarılarak ürettikleri farklı auxetic ipliklerin (Şekil 2.21) PR değerleri ölçülmüştür. Merkezde; polyester - kauçuk iplik (2,16 – 1,45 mm çap), rijit iplik polyester (0,36 mm çap), elastik iplik olarak da polyester - kauçuk iplik (0,37 mm çap) ve pamuk – spandex (0,20 mm çap) olmak üzere farklı kombinasyonlarda numuneler üretilmiştir. Numunelerin tekrarlı kuvvet altında PR değerleri ölçülmüştür. Üretilen ipliklerde kayma probleminin önlendiği, üretilen numunelerin helisel auxetic ipliklere (HAY) göre daha düşük Poisson değerine sahip olduğu aktarılmıştır (Jiang ve Hu, 2019).



Şekil 2.21. Braid auxetic iplik (BAY) üretimi (Jiang ve Hu, 2019)

Chen ve Du (2020), farklı kalınlıklarda poliüretan, polyester ve monofilament paslanmaz çelik telden üretilen katlanmış auxetic ipliklerin PR değerlerine ipliklerin modül değeri ve kalınlıklarının etkisini incelemiştir. En düşük Poisson değeri -2,55 ile poliüretan – paslanmaz çelik iplikten oluşturulmuş iplikte ölçülmüştür. Hacimli ipliğin daha kalın olması, daha yüksek modüllü iplik kullanımının Poisson değerini azalttığı ifade edilmiştir (Chen ve Du, 2020).

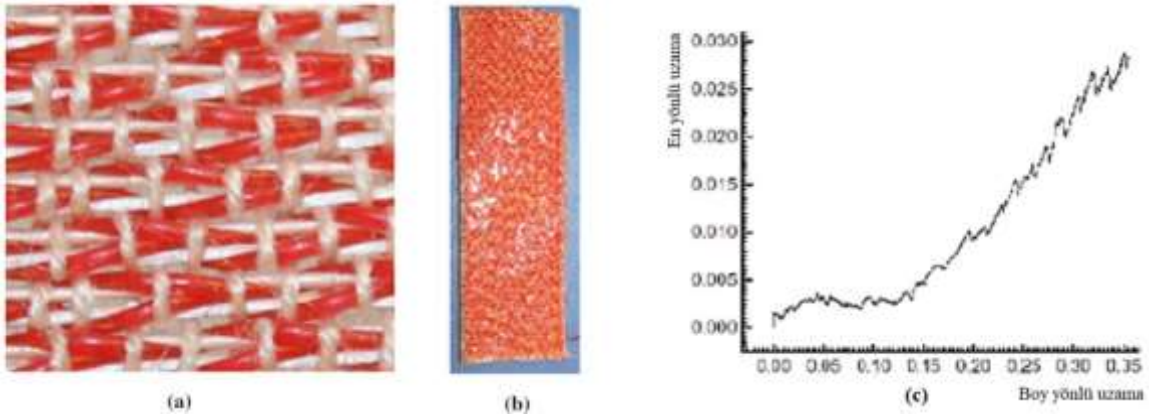
Chen ve diğerleri (2020), farklı sarım açılarında helisel auxetic iplik üreterek, sarım açısının Poisson oranına etkisini incelemiştir. Merkezde 1680 denye (0,58 mm çap) spandex ipliğin üzerine 150 denye (0,25 mm çap) polyester ipliği a) 150 m^{-1}, b) 300 m^{-1}, c) 450 m^{-1} sıklığında sararak üretilen ipliklerin PR değerlerini ölçmüştür. Düşük sarım sıklığına (düşük sarım açısına sahip) iplikten (a) -2,5, orta sarım sıklığına sahip iplikten

(b) -2,1 PR değeri elde edilirken, yüksek sarım sıklığına sahip ipliğin (c) neredeyse hiç auxetic etki göstermediği aktarılmıştır. Bu nedenle; sarım açısının azalması, sarılan ipliğin daha az bağlantı yaparak daha çok yüzmesinin Poisson değerini azaltıcı etkisinin olduğu açıklanmıştır (Chen, Du ve Li, 2020).

2.4.2. Auxetic dokuma kumaş üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar

Auxetic dokuma kumaş üretimi genel olarak; auxetic yapıdaki ipliğin temel dokuma örgüleriyle üretilmesi (Miller ve diğerleri, 2009; Ng ve Hu, 2018) ya da konvansiyonel ipliklerle farklı örgüler yardımıyla auxetic dokuma kumaş üretimini içermektedir. Konvansiyonel ipliklerle yapılan çalışmalar incelendiğinde kumaş içerisinde farklı örgülerin bölgesel olarak yerleşimi değiştirilerek auxetic yapılar elde edilmektedir. Örneğin 4/1, dimi 3/1 ve dimi 2/2 ve bezayağı örgülerle zigzag efektinin oluşturulduğu, örgü raporu içinde esnek ve rijit bölgelerin yer aldığı auxetic dokuma kumaşlar üretilmiştir (Ali ve diğerleri, 2018; Cao ve diğerleri, 2018; Zulifqar ve Hu, 2019; Zulifqar, Hua, ve Hu, 2019; Chen, Zulifqar ve Hu, 2020; Kamrul ve diğerleri, 2020).

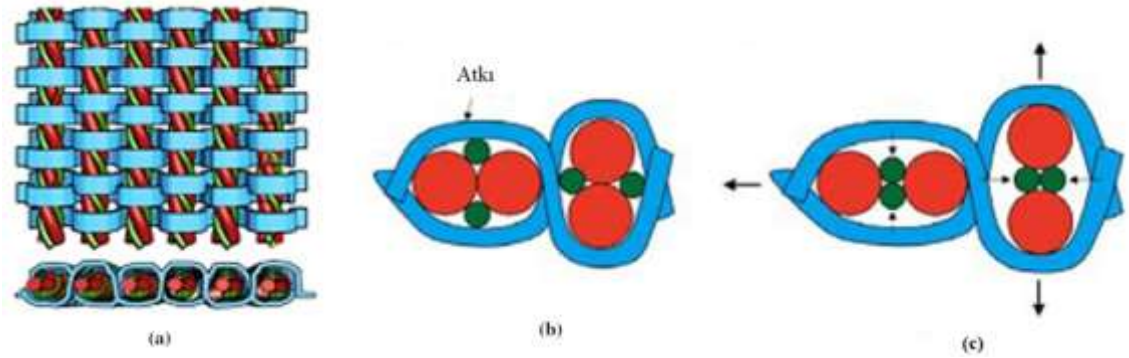
Miller ve diğerleri (2009), negatif Poisson oranına sahip ipliklerle dokuma kumaş üreterek (Şekil 2.22) elde edilen kompozit malzemelerin auxetic davranışlarını incelemiştir. Merkezde 0,64 mm çapında poliüretan ipliğin üzerine 70^0 açıyla 220 dtex PE ipliğin sarılmasıyla elde edilen auxetic iplikle (PR: -2,1) dokuma kumaş üretilmiştir. Kumaşa boyuna yönde kuvvet uygulayarak en yönündeki değişimler incelenerek PR ölçülmüştür. Dokuma kumaşın PR pozitif olmasına rağmen, kumaş kompozit hale getirildiğinde kumaş yapısındaki ipliklerin hareketi sınırlandırılarak PR değerinin -0,1 ölçüldüğü belirtilmiştir (Miller ve diğerleri, 2009).



Şekil 2.22. a) Auxetic ipliklerden üretilmiş dokuma kumaş, **b)** kompozit kumaş, **c)** kompozit kumaşa kuvvet uygulandığında en ve boy yönlü değişim grafiği (Miller ve diğerleri, 2009)

Cao ve diğerleri (2018), konvansiyonel elastik ve elastik olmayan iplikler kullanılarak auxetic dokuma kumaşlar elde etmiştir. Çift yönlü auxetic yapıda olması amacıyla kumaş yapısında 45^0'lik zigzag efekti oluşturmak üzere saten 4/1, dimi 3/1 ve dimi 2/2 örgüleri bezayağı örgüyle kombine ederek farklı örgü yapılarında kumaşlar üretilmiştir. Ayrıca, elastik-rijit iplik kullanımı durumunda etkiyi görebilmek amacıyla atkı ve çözgüde iki iplik beraber ya da ayrı ayrı beslenerek numune çeşitliliği arttırılmıştır. Elastik iplik ilavesinin, ilave edilen doğrultuda auxetic etkiyi arttırırken diğer doğrultuda azalttığı belirtilmiştir. Ölçümler sonucunda çözgü yönünde -0,36, atkı yönünde -0,27 Poisson değerlerine ulaşıldığı aktarılmıştır (Cao ve diğerleri, 2018).

Ng ve Hu (2018), farklı kalınlıktaki esnek ve rijit ipliklerin birbiri üzerine 2, 3 ve 6 katlı olarak sarılmasıyla oluşturdukları auxetic ipliklerin basit dokuma örgü yapısında üretilmesiyle auxetic dokuma kumaş üretimi (Şekil 2.23) gerçekleştirmişlerdir. Büküm yönü, iplik kalınlığı, örgü yapısı, iplik kat sayısı gibi faktörlerin auxetic dokuma kumaşın PR değerine etkisini incelemek üzere 12 farklı numune üretilmiştir. 4 katlı, düşük modül değerine sahip, zıt bükümlü (S/Z), bezayağı ve 2/1 dimi örgülerin (3/1 dimi ve satene göre) daha düşük Poisson değerlerine sahip oldukları belirtilmiştir (Ng ve Hu, 2018).



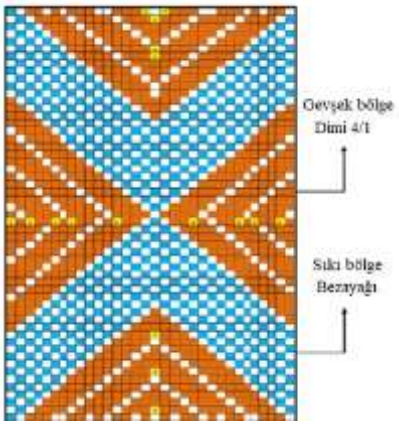
Şekil 2.23. a) Auxetic ipliklerle üretilen auxetic dokuma kumaş yapısı, **b)** başlangıç pozisyonunda kumaş yapısının enine kesiti, **c)** Yük altında enine kesit (Ng ve Hu, 2018)

Ali ve diğerleri (2018), auxetic yapıda örgüye sahip dokuma kumaşların özelliklerini incelediği çalışmada konfor özelliklerinin değişimi de araştırmıştır. Numunelerin kuvvet altında eksenel ve yanal değişim miktarlarının yanı sıra, kalınlık ve uzama değişimleri de analiz edilmiştir. Ayrıca kumaşların serbest halde ve yük altında hava geçirgenliği, kılcallık, ısıl direnç ve eğilme rijitliği değerleri ölçülmüştür. Hava geçirgenliği ölçümlerinde; auxetic kumaşa kuvvet uygulandığında serbest duruma göre hava geçirgenliği %50 artarken, konvansiyonel kumaşlara kuvvet uygulandığında hava geçirgenliğinin %20 azaldığı belirtilmiştir. Auxetic kumaşların örgü yapısındaki ipliklerin yönlenmelerinden dolayı oluşan kapiler etki nedeniyle normal kumaşlara göre %50 daha fazla ıslanabilir olduğu ve sıvı dağılımının daha homojen olduğu aktarılmıştır. Isıl direnç değerleri incelendiğinde; auxetic kumaşlarda oluşan boşluklarda hava kesecikleri yer aldığından bu kumaşların %20 civarında daha yalıtkan yapıda olduğu bildirilmiştir. Kumaşların şekil alabilirliklerinin incelendiği eğilme rijitliği deneyine göre auxetic kumaşların %42 daha düşük değere sahip olduğundan kolay şekil alabilir yapıda olduğu aktarılmıştır (Ali ve diğerleri, 2018).

Nazir ve diğerleri (2019), helisel auxetic iplik yapısında kevlar ve polipropilen iplikleri farklı açılarda (8^0-12^0-16^0-20^0) birbiri üzerine katlayarak auxetic iplik üreterek konvansiyonel örgü yapısında dokuma kumaşlar üretmiştir. Auxetic kumaşların PR değerlerini ölçerek sarım açısı ve örgü yapısının etkisini incelemiştir. Sarım açısı azaldıkça Poisson oranın azaldığı aktarılmıştır. Panama örgü yapısındaki numunelerin bezayağı ve dimi örgülere göre daha düşük PR değerine sahip olduğu belirtilmiştir (Nazir, Shaker, Hussain ve Nawab, 2019).

Zulifqar ve Hu (2019), örgü raporu içinde esnek ve rijit bölgeler oluşturarak auxetic dokuma kumaş üretmiştir. 5x20 cm ölçülerindeki numunelere 150 ve 30 mm/dk hızlarda kuvvet uygulanmış ve %5'lik uzama değerine denk gelecek şekilde fotoğraflanarak en-boy yönlü değişimler incelenmiştir. Çalışmanın devamında esnek örgülü bölgelere elastik iplik beslenerek yeni numuneler üretilmiş ve PR değeri daha da azaltılmıştır (Zulifqar ve Hu, 2019).

Zulifqar, Hua ve Hu (2019), zigzag örgü yapısında auxetic dokuma kumaş üreterek Poisson oranlarını ölçülmüştür. Numunelerde belirli düzende; sıkı (bezayağı) ve gevşek (Dimi 4/1) bölgeler oluşturularak katlanabilir bir yapı elde edilmiştir. Numunelerin hem en hem de boy yönlerinde negatif PR değeri ölçüldüğü aktarılmıştır (Şekil 2.24) (Zulifqar ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.24. Auxetic dokuma kumaş ve örgü yapısı (Zulifqar ve diğerleri, 2019)

Kamrul ve diğerleri (2020), zigzag örgü yapısında üretilen auxetic yapıdaki dokuma kumaşların tekrarlı kuvvetler altında PR değişimini incelemiştir. Pamuk ve özlü-corespun elastik ipliklerle bezayağı ve dimi 3/1 örgüler bölgesel olarak konumlandırılarak zigzag yapılar oluşturulmuştur. Üretilen numuneler ASTM D5035 deney standardına göre üniversal mukavemet test cihazına (150 mm çene mesafesi, 50 mm/dk hız) yerleştirilerek numuneler 45 saniye uzamaya zorlanmıştır ve bu pozisyonda 10 saniye bekletilmiştir. Bu şekilde 20 çevrim tamamlanarak her çevrim için PR değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre çevrim sayısı arttıkça PR değeri

artmıştır. Tekrarlı yük altında numunelerin auxetic özelliğinin azaldığı aktarılmıştır (Kamrul ve diğerleri, 2020).

Kamrul, Zulifqar ve Hu (2020), kuvvet doğrultusu ve tekrarlı kuvvetlerin poisson oranına etkisini incelediği bir başka çalışmada, sıkı ve gevşek yapıdaki örgülerden oluşan girintili (re-entrant) auxetic dokuma üretmiştir. Bu kumaşlara farklı doğrultularda kuvvet uygulayarak PR değerleri ölçülmüştür. Ayrıca %5, %10, %15 ve %20 gibi farklı oranlarda belirli sürede uzatılarak bu pozisyonda bekletilmiş ve başlangıç pozisyonuna dönülerek çevrimler yapılmıştır. Bu şekilde 20 çevrim tamamlanarak her çevrim değerindeki PR değeri ölçülmüştür. Deformasyon miktarındaki ve çevrim sayısındaki artışın PR değerini azalttığı açıklanmıştır (Kamrul, Zulifqar ve Hu, 2020).

Chen ve diğerleri (2020), foldable (katlanır) dokuma kumaştaki; *birim uzunluğu (L), yatayla yaptığı açı değeri (Ɵ), zigzag kolların uzunluğu (l) ve kumaş kalınlığı (t)* gibi birim yapıdaki değişikliklerin Poisson oranına etkisini incelemiştir. Birim uzunluk ve l değeri azaldıkça PR değerinin düştüğü, en düşük PR değerinin yatayla 45^0 açıya sahip numunelerin sahip olduğu bildirilmiştir. Kumaş kalınlığının azalması PR değerini de azaltmaktadır. Çalışmada ayrıca; 9x9, 11x11, 15x15 ve 20x20 gibi farklı sayıda birim ilmek içeren numunelerin yük altında katlanma davranışları incelenmiştir. Numune uzunluğu arttıkça daha fazla katlanmanın meydana geldiği açıklanmıştır (Chen ve diğerleri, 2020).

Chen ve diğerleri (2020), helisel auxetic yapıdaki (HAY) iplikler kullanarak bezayağı, dimi gibi temel örgülere auxetic dokuma kumaşı üretimi gerçekleştirmiştir. 1680 denye (0,58 mm çap) spandex iplik kullanılarak üretilen kumaşın elastik deformasyon davranışlarının Poisson oranıyla olan ilişkisini incelemiştir. Farklı uzama oranlarında uzatılan numuneler kuvvet altında bekletildikten sonra anlık ve kalıcı uzama miktarları ölçülmüştür. Sonuç olarak anlık uzama değerleri ile PR değerlerinin benzerlik gösterdiği, PR değeri arttıkça anlık uzama miktarının da arttığı aktarılmıştır (Chen ve diğerleri, 2020).

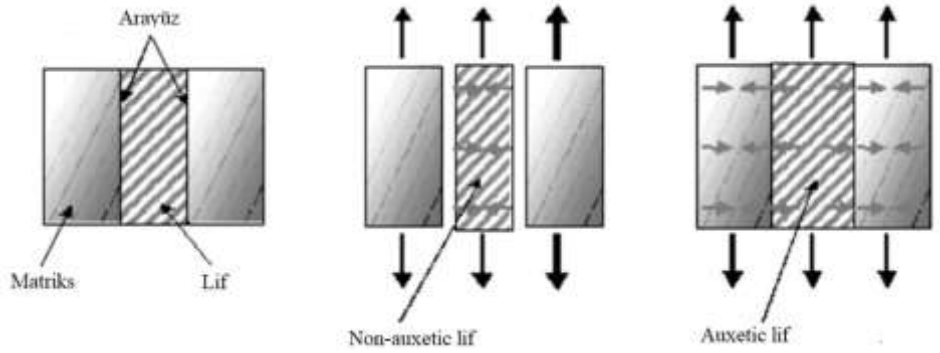
2.4.3. Auxetic kompozit üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar

Auxetic yapılar tek başına kullanımının yanı sıra kompozit yapılarda destek malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Auxetic kompozit üretiminde; negatif Poisson oranlı matris kullanmak, auxetic ipliklerle üretilmiş bir matris kullanmak, hem auxetic iplik hem de auxetic yapıda matris kullanmak ve kompozit tabakaları belirli yönlerde katmanlamak olmak üzere dört farklı üretim tekniğiyle üretilmektedir. Kompozit malzemelerde PR, -1'e yaklaştıkça kırılma tokluğu artmaktadır (Evans ve Alderson, 2000).

Herakovich (1984), grafit/epoksi kumaşların farklı açılarla yerleşimi sonucu oluşan lamine kumaşların Poisson oranlarını incelemiştir. $\pm 25^0$ yerleşimde υ = -0,21 iken 90^0 yerleşimde υ=0,49 ölçülmüştür. Poisson oranının negatif olduğu aralığın 15^0 - 40^0 olduğu belirtilmiştir (Herakovich, 1984).

Evans ve diğerleri (2004), kumaş katlarının farklı açılarla yerleştirilmesiyle üretilen kompozit kumaşların auxetic özelliklerini incelemiştir. Bir kompozit içindeki liflerin yönelimlerinin kontrol edilmesiyle, anizotropinin derecesinin ve yüksek yüklerin taşınabileceği şekilde değiştirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu uygulamayla kompozitin darbe dayanımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Kumaş katları farklı açılarla üst üste yerleştirilerek epoksi reçine ile kaplanmıştır. En düşük PR değerinin $20\text{-}30^0$ aralığındaki yerleşimlerde oluştuğu belirtilmiştir (Evans ve diğerleri, 2004).

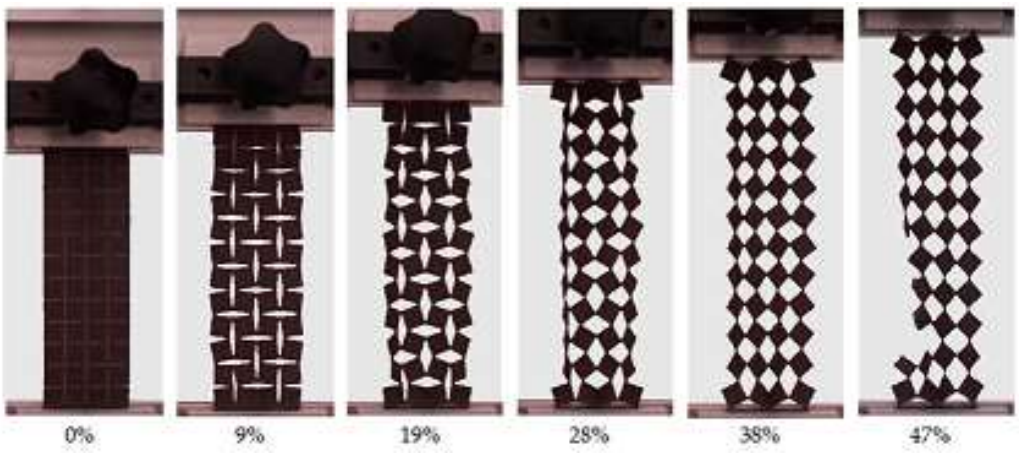
Alderson ve diğerleri (2005); kompozit yapıda lif-reçine arasındaki bağın, auxetic malzemelerin kuvvet altında genişlemeleri nedeniyle daha kuvvetli olacağı fikrinden yola çıkarak deney modeli geliştirmiştir. Konvansiyonel bir ipliğe kuvvet uygulandığında enine yönde daralma olacağından, reçineden uzaklaşacağında bağlarda kopmalar meydana geleceği bu nedenle auxetic iplik kullanılarak yapının güçlendirileceği ve mukavemetin artacağını belirtmiştir. Bu amaçla şekilde gösterildiği gibi oluşturulan kompozit yapıya çekme testleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak auxetic iplikten üretilmiş kompozit yapının kopma yükünün daha fazla olduğu, bu nedenle auxetic matrise sahip kompozit malzemelerin daha yüksek kayma kuvvetine dayanıklı oldukları belirtilmiştir (Şekil 2.25) (Alderson ve diğerleri, 2005).



Şekil 2.25. Yük altında konvansiyonel ve auxetic iplikler arasında oluşan matrix/reçine kuvvet değişimi (Alderson ve diğerleri, 2005)

Skertchly (2011), koruyucu özelliğe sahip kompozit malzeme üretimiyle ilgili aldığı patentte seramik plakaları, kuvveti dağıtma özelliğine sahip auxetic tekstil malzeme ile bir araya getirmiştir. Auxetic yapıda iplik, dokuma ya da örme kumaşın bağlayıcılar (reçineler) sayesinde seramik plakalarla oluşturacağı kompozit yapıların darbeleri sönümleyerek koruyucu zırh olarak kullanılabilecekleri açıklanmıştır (Skertchly, 2011).

Dubrovski ve diğerleri (2019), dokusuz yüzey kumaşları lazer kesiciyle döner kare yapısında keserek auxetic üretimi gerçekleştirmiştir. Farklı büyüklükte birim hücrelerden oluşan numunelerin farklı uzama değerlerinde PR değerleri ölçülmüştür. Bu şekilde PR değeri -1'e yakın sonuçların elde edildiği aktarılmıştır. Böyle konvansiyonel yapıdaki bir numunenin lazer kesim yöntemiyle auxetic hale getirilebileceği belirtilmiştir (Şekil 2.26) (Dubrovski, Novak, Borovinšek, Vesenjak ve Ren, 2019).



Şekil 2.26. Döner kare yapısında kesilerek auxetic hale getirilmiş dokusuz yüzey numunelerin farklı uzama değerlerindeki görünümü (Dubrovski ve diğerleri, 2019)

2.4.4. Auxetic örme kumaş üretim yöntemleriyle ilgili çalışmalar

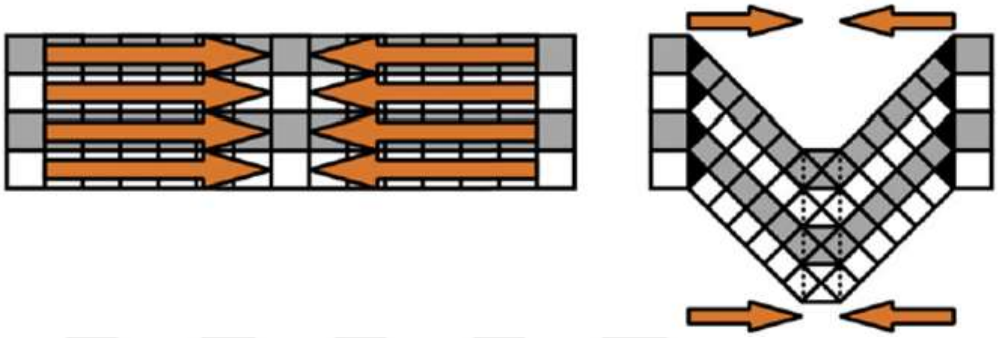
Auxetic örme kumaşlar dokuma kumaşlardan daha iyi auxetic özellik göstermektedir (Jinyun, Yi, Lam ve Xuyong, 2010; Wang ve Hu, 2013; Wang ve Hu, 2017). Literatürde hem atkı örmeciliği hem de çözgülü örmede auxetic kumaş üretimine dair çalışmalar yer almaktadır. Atkılı örme teknikleriyle üretilmiş auxetic örme kumaşlarla ilgili yapılan çalışmalarda; zigzag, katlanabilir, okbaşı örgü yapısındaki numunelerin yatayla yapılan açının değiştirilmesi, farklı hammadde kullanımının Poisson oranına etkileri incelenmiştir.

Liu ve diğerleri (2010), zigzag yapıdaki örgü kumaşları farklı örgü raporlarında düz örme makinesinde üretip desenlerdeki açısal değişimlerin Poisson oranına etkisini incelemiştir. 170 x 150 mm ölçülerinde hazırlanan numuneler 150 mm çene aralığındaki mukavemet cihazına yerleştirilerek 5 ayrı noktadan en ve boy yönlü değişimler ölçülmüştür. Tüm numunelerde negatif PR değerleri elde edildiği aktarılmıştır. Zigzag yapıdaki örgülerin yatayla oluşturduğu açı değerinin sonuçlar üzerinde en etkili parametre olduğu, bu değerin azalmasıyla numunenin daha katlanabilir bir yapı kazandığı ve dolayısıyla Poisson oranın azaldığı, auxetic etkinin arttığı ifade edilmiştir (Liu ve diğerleri, 2010).

Hu ve diğerleri (2011), düz örme makinesinde dikdörtgen yapıda ön ve arka yüzeyde ilmeklerle katlanabilir yüzey elde etmiştir. Oluşan auxetic kumaşlara gerilim uygulanarak yüzde uzama ve PR grafiği elde edilmiştir. Sonuç olarak; değişimin lineer olmadığı, başlangıçta Poisson oranının düştüğü, kuvvet uygulanmaya devam ettiğinde katlanır yapının genişlemeye izin verdiği sınır geçildiğinde Poisson oranın arttığı belirtilmiştir. Çalışmada aynı zamanda, örme kumaşlardan auxetic kumaş üretiminin gerçekleştirilebileceğini ve düz örgü teknolojisinin, geleneksel ipliklerden elde edilen auxetic kumaşların basit, ama oldukça etkili bir yolunu sağlayabildiği aktarılmıştır (Hu ve diğerleri, 2011).

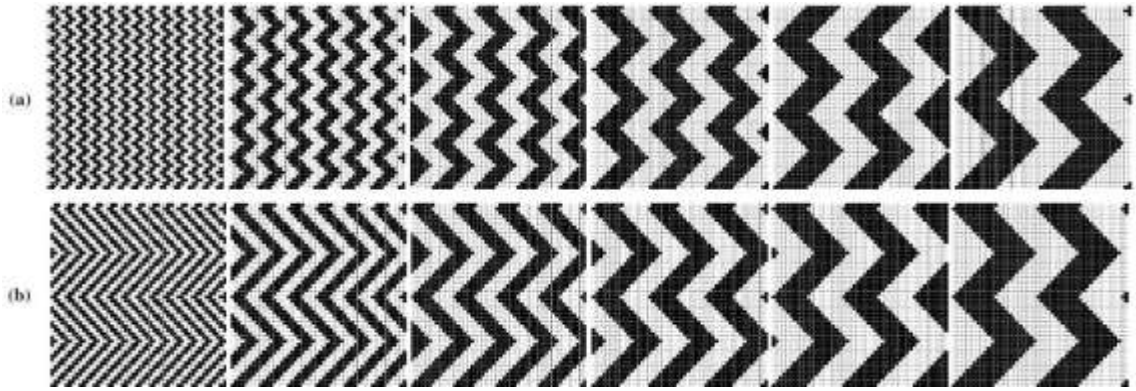
Glazzard ve Breedon (2014), kumaşın teknik ön ve arka yüzeylerinde örgü örülerek oluşturduğu hacimli yapının ilmek transferleriyle 3 boyut etkisini arttırarak auxetic

yapıda zigzag örgülü kumaş oluşturmuştur (Şekil 2.27). Poisson oranının üniversal mukavemet test cihazı olmadan ölçümü için geliştirilen yönteme göre; numuneler 100x100 mm ölçülerinden biraz büyük kesilerek 10'ar mm aralıklarla işaretlenmiştir. Kumaş numuneleri gerdirilerek en ve boy yönlü değişimlerin fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraflar görüntü işleme programına aktarılarak Poisson oranları hesaplanmıştır (Glazzard ve Breedon, 2014).



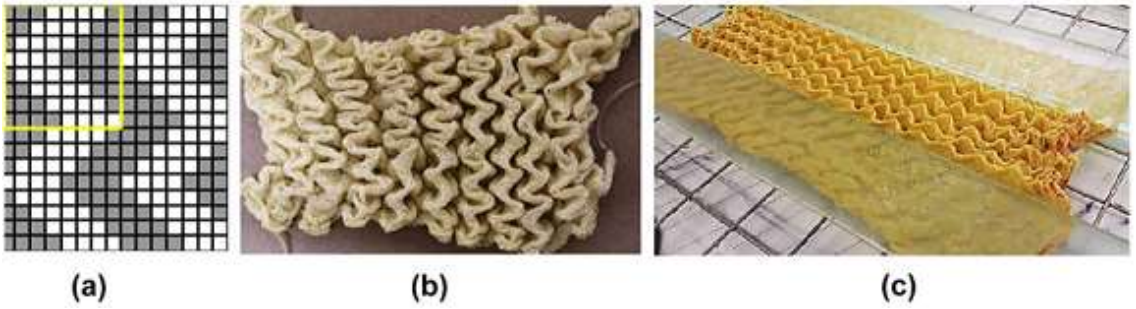
Şekil 2.27. Çalışma kapsamında oluşturulan kumaşın örgü yapısı (Glazzard ve Breedon, 2014)

Rant ve diğerleri (2014), zigzag yapıdaki (Şekil 2.28) kumaşların hammadde ve örgü yapılarını değiştirerek kompresyon davranışlarını incelemiştir. Baloncuklar, köpükler ve klasik ambalaj malzemesi ile karşılaştırarak bu ürünlerin ambalaj malzemesi olarak kullanılmasını incelemiştir. %46 yün - %54 poliakrilonitril ve %86 viskoz - %14 poliamid olmak üzere iki farklı hammaddeye sahip 75 tex iplik kullanılmıştır. Numuneler E12 numaralı düz örme makinesinde örüldükten sonra birkaç bekletilerek relakse edilmiştir. 9 mm çapındaki dairesel aparatla numunelere kuvvet uygulanmıştır. Numunelerin 1 mm sıkıştırılması için gerekli kuvvet değeri ölçülmüştür. Sonuç olarak, bu yapıların ambalaj malzemesi olarak kullanılabileceği, materyali mekanik hasarlardan koruyabileceğini iletmiştir. Ayrıca giyim, otomotiv endüstrisi, yatak yüzü ve koruyucu malzeme olarak da kullanılabileceği aktarılmıştır (Rant ve diğerleri, 2014).



Şekil 2.28. Üretilen numunelere ait desen yapıları (soldan sağa doğru) **a)** 4x4, 8x8, 12x12, 20x20, 24x24 **b)** 4x24, 8x24, 12x24, 16x24, 24x24 (Rant ve diğerleri, 2014)

Steffens ve diğerleri (2017), %100 aramid ve %50 aramid - %50 poliamid ipliklerle Şekil 2.29'da gösterilen girintili örgü yapısında numuneleri epoksi ve polyester reçinelerle kaplayarak kompozit numuneler (Şekil 2.29.c) üretmiştir. Elde edilen sonuçlara kompozit numunelerin auxetic yapıda oldukları ve bu tür malzemelerin kurşun geçirmez yelekler, kasklar, koruyucu giysiler gibi çeşitli teknik uygulamalarda ve enerji emiliminin önemli olduğu diğer tüm alanlarda kullanılabileceği aktarılmıştır (Steffens, Oliveira, Mota ve Fangueiro, 2017).



Şekil 2.29. Aramid ve aramid-poliamid ipliklerle üretilen kompozit numunelerin; **a)**örgü yapısı, **b)** atkılı örme makinesinde örülmüş hali, **c)** reçine ile kaplanarak kompozit oluşturulması (Steffens ve diğerleri, 2017)

Boakye ve diğerleri (2018), okbaşı örgü yapısına sahip farklı örgü yapısındaki kumaşları düz örme makinesinde tüp formunda üretmiştir. Hammaddenin Poisson oranına etkisini görebilmek için; naylon, polyester ve pamuk iplikleriyle çalışılmıştır. Naylon ipliklerle üretilen numunelerin ve 6x6 desen yapısındaki numunelerin

diğerlerine göre daha düşük PR değerine sahip olduğu aktarılmıştır (Boakye ve diğerleri, 2018).

Xu ve diğerleri (2018), katlanır, döner ve okbaşı örgü yapısında üretilen kumaşların ilmek iplik uzunluğu ile PR değeri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Numuneler, 85 tex kevlar iplik kullanlarak E12 düz örme makinesinde üretilmiştir. Numuneler üzerinde işaretleme yapıldıktan sonra çenelere sabitlenerek elle uzatılmış ve PR değerler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ilmek iplik uzunluğu arttıkça PR değerinin azaldığı aktarılmıştır. İlmek yoğunluğundaki azalmanın kumaşın daha rahat deforme edilmesini sağladığı belirtilmiştir (Xu, Sun, Raji ve Ma, 2019).

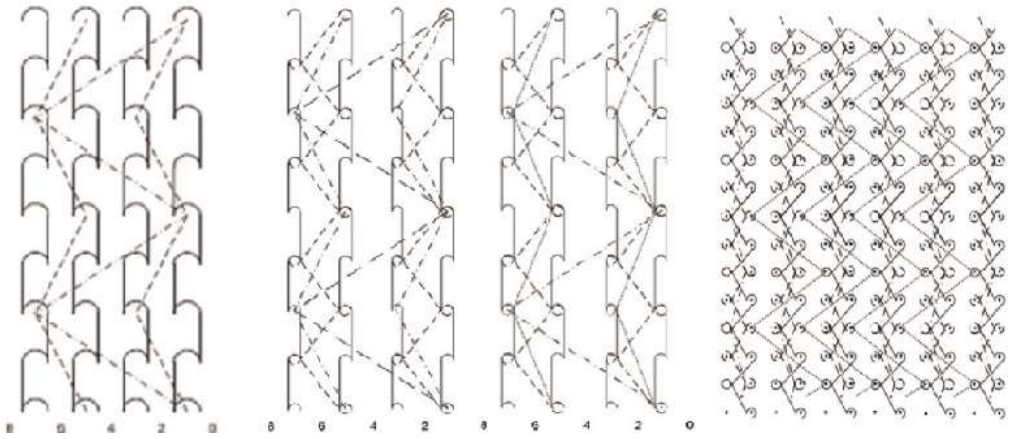
Luan ve diğerleri, (2020), Miura katlama tekniğiyle ürettikleri atkılı örme auxetic kumaşların deforme edilmesi için harcanması gereken enerji miktarını karşılaştırmıştır. Numunelerin Poisson oranları ölçülmüştür. Ardından 50x50 mm ölçülerindeki numuneler üniversal mukavemet test cihazında 100 mm/dk hız ile kuvvet uygulanmıştır. İlk 60 saniye kuvvet uygulanıp sonraki 60 saniye yük geri çekilerek kuvvet uzama grafikleri oluşturulmuştur. Grafikte oluşan histerilerle numunelerin yük altında deformasyonları incelenmiştir. Sonuç olarak Poisson oranı en düşük olan numunenin (υ= -0,9) (zigzag desenin yatayla en düşük açıya sahip olduğu) deforme edilmesi için gereken enerjinin diğer numunelere göre daha yüksek olduğu aktarılmıştır (Luan, West, DenHartog ve McCord, 2020).

Çözgülü örme teknikleriyle üretilmiş auxetic örme kumaşlarla ilgili yapılan çalışmalarda; alt ve üst yüzeylerde zigzag ve okbaşı örgü yapısındaki desenler kullanılarak numunelerin üretildiği veya elastik ve elastik olmayan alt yatırım ipliklerinin kullanıldığı görülmektedir.

Ugbolue ve diğerleri, (2011), farklı örgü yapılarında ve hammaddelerde auxetic kumaş üretimiyle ilgili patent çalışmasında auxetic çözgülü örme kumaş üretimini incelemiştir. Çözgülü örme kumaş üretiminde özellikle alt iplik yatırımı hareketiyle; girintili, okbaşı örgülerle auxetic çözgülü kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda farklı notasyonlara sahip örgü yapılarının PR değerlerinin -0,15 ile -0,57 arasında PR değerine

sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, farklı hammadde ve numara iplik kullanılarak, değişik örgü yapısında auxetic yapıda numune üretiminin gerçekleştirileceği açıklanmıştır (Ugbolue ve diğerleri, 2011).

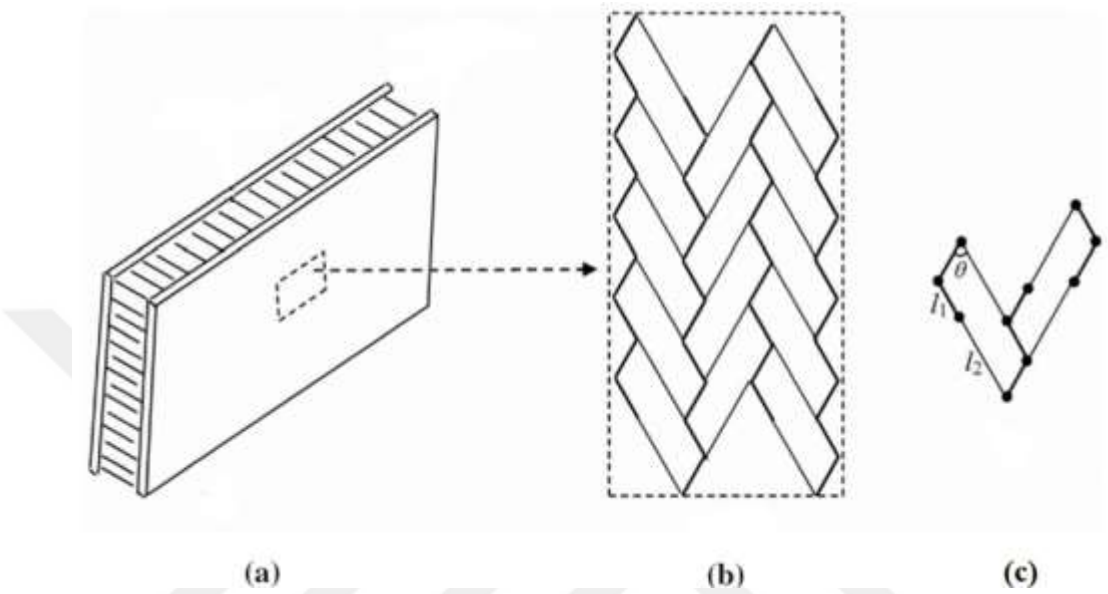
Alderson ve diğerleri (2012), üçgen ve okbaşı örgü yapılarında oluşturulmuş çözgülü örme auxetic kumaşlara en boy ve verev yönlü kuvvet uygulanması durumunda PR ölçmüştür. Farklı çaplarda monofilament polyester, elastan (lycra) ve elastik yapıdaki iplikler kullanılarak farklı örgü yapısında çözgülü örme kumaşlar üretilmiştir (Şekil 2.30). Elde edilen sonuçlara göre en ve boy yönlü ölçümlerde negatif PR değeri elde edilmemesine rağmen, verev yönlü ölçümlerde düşük PR değerleri ölçülmüştür. Verev yönlü ölçüm sonuçlarına göre -0,22 değerine ulaşıldığı aktarılmıştır (Alderson ve diğerleri, 2012).



Şekil 2.30. Farklı örgü yapısında yapılarında üretilen çözgülü örme auxetic kumaşlar (Alderson ve diğerleri, 2012)

Wang ve Hu (2013), paralelkenarlarla oluşturulmuş özel geometrik konfigürasyonla (Şekil 2.31) üretilen 3 boyutlu çözgülü örme kumaşların auxetic davranışlarını, tekrar eden örgüdeki geometrik yapı değişikliğini ve tekrarlı kuvvet altında auxetic davranışın devamlılığını incelemiştir. Bu amaçla polyester ipliklerle üretilen 4 farklı kumaş, en - boy ve verev yönlerde 200 x 50 mm ölçülerinde kesilerek kuvvet uygulanmıştır. Atkı yönlü kuvvet uygulandığında daha yüksek auxetic etki görülmüştür. Tüm ölçümlerde kuvvet arttıkça auxetic etkinin azaldığı aktarılmıştır. Kritik eşik aşıldıktan sonra auxetic malzemeler non-auxetic yapıda olmaktadır. Bu nedenle kumaşın auxetic davranışı; kuvvetin uygulanma yönüne ve kuvvet miktarına bağlı olduğu açıklanmıştır. Örgüde

kullanılan geometrik şekil değişikliği (tekrar eden birim uzunlukları, yatayla yaptığı açı) incelendiğinde açı değeri düştükçe auxetic etkinin arttığı aktarılmıştır. Ayrıca, auxetic kumaşları dairesel yüzey üzerine bırakıldıklarında normal kumaşlara göre daha kolay şekil alabildikleri açıklanmıştır (Wang ve Hu, 2013).



Şekil 2.31. a) Auxetic spacer kumaş, **b)** kumaş yüzeylerindeki geometrik yapı, **c)** tekrar eden birim (Wang ve Hu, 2013)

Ma ve diğerleri (2015), 50 denye 24f polyester ve 40 denye 12f naylon iplikle triko tipi çözgülü örme makinesinde 4 farklı örgü yapısında numune üretmiştir. Numunelerin alt yatırma hareket miktarları değiştirilerek PR ile ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre alt yatırma mesafesi fazla olan numunelerin PR değeri yüksek, diğerlerinde daha düşük değerler elde edilmiştir (Ma, Chang ve Jiang, 2016).

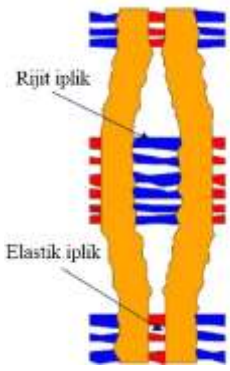
Auxetic kumaşların kolay şekil alabilirliğinin incelendiği çalışmada; farklı yüzey örgü yapılarına sahip çözgülü örme spacer kumaşların Poisson oranları hesaplanarak belirli bir şekil alabilmeleri için gerekli kuvvet arasındaki ilişki incelenmiştir. Auxetic kumaşların konvansiyonel kumaşlara göre şekil alabilirlik değerlerinin daha düşük olduğu, daha kolay şekil alabildiği aktarılmıştır (Wang ve Hu, 2017).

Xu ve diğerleri, (2020), auxetic yapıdaki çözgülü örme spacer kumaşların farklı oranlarda silikon reçine ile birleştirilmesiyle elde edilen kompozit yapıların enerji

absorbe etme özelliklerini incelemiştir. 4 farklı örgü raporlarına sahip numunelerin PR değerleri υ= -0,225 ile υ= -1,704 arasında ölçülmüştür. Kumaşlar 10x15 cm ölçülerinde kesilerek %20, %40, %70 ve %100 kadar silikon reçine ile doldurularak kompozit numuneler üretilmiştir. PR azaldıkça, reçine miktarı arttıkça numunelerin dayanımının arttığı, enerji absorblama kapasitelerinin yükseldiği açıklanmıştır (Xu ve diğerleri, 2020).

Zhao ve diğerleri (2020), elastik ve elastik olmayan alt yatırım iplikleri kullanarak auxetic yapıda çözgülü örme kumaş üretmiştir. 108 dtex polyester, 116 dtex elastomerik iplik kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere göre -0,5 PR değerlerinin elde edildiği açıklanmıştır (Zhao ve diğerleri, 2020).

Çalışmanın devamında Zhao ve diğerleri (2021), kumaşların gündelik hayatta tekrarlı kuvvetlere maruz kaldıklarını belirterek tekrarlı yük altında auxetic davranış değişimini incelemiştir. Bir önceki çalışmada kullanılan çözgülü örme numunelerin kopma mukavemetlerinin %25'i kadar yük 100 tekrarlı olarak (50 mm/dk hızla) uygulanmıştır. Çevrimler sonucunda malzemelerin auxetic özelliklerini koruduğu açıklanmıştır (Zhao ve diğerleri, 2021).



Şekil 2.32. Elastik ve rijit yatırma iplikleriyle üretilen çözgülü örme numuneler (Zhao ve diğerleri, 2021)

Zhao ve diğerleri (2021), elastik ve rijit yapıdaki alt yatırma iplikleriyle oluşturulan çözgülü örme numunelerin (75 denye polyester, 0,1 mm polyester ve 75 denye polyester üzerine sarılı 30 denye poliüretan iplik) PR değerlerini hem üniversal mukavemet test cihazı hem de sonlu elemanlar yöntemiyle %20 uzama değerine kadar ölçmüştür. Teorik

ölçüm değerinin gerçek PR değerine göre daha yüksek olduğu, sonlu elemanlar yönteminin malzemenin PR değeri tahmini için kullanılabileceği aktarılmıştır (Şekil 2.32) (Zhao ve diğerleri, 2021).

2.5. Auxetic Malzemelerin Uygulama Alanları

Auxetic malzemeler farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Auxetic malzemelerin havacılık endüstrisinde; uçak termal koruma sistemi, bağlama kayışları, kanat paneli, uçak burun konileri, savunma sanayinde; koruyucu malzemeler, patlama perdeleri, balistik koruma için araç zırhı, kask, kurşun geçirmez yelek, koruyucu donanım, dizlik, otomotiv endüstrisinde; hava yastığı, termal koruma, sarsıntı tamponu, balistik koruma için araç zırhı, bağlantı elemanı, biomedikal üretiminde; stentler, cerrahi implantlar, arter protezleri, bandaj, yara baskı pedi, sağlık izleme sensörleri, suni deri, protez astarlar, sütürler, inşaat endüstrisinde; duvarlarının yardımcı bir katmanla (auxetic köpük) güçlendirilmesiyle kırılma tokluğunun arttırılması gibi kullanım alanları mevcuttur (Mazaev ve diğerleri, 2020).

Auxetic örme kumaşların; kask, şapka, gömlek, pantolon, şort, dizlik, ayakkabı, bot, sırt çantası vb. gibi ürünlerin üretiminde kullanılmasıyla ilgili patent çalışmaları bulunmaktadır (Blakely ve Toronjo, 2013; Cross ve Podhajny, 2016). Potansiyel uygulamalar arasında filtre kumaşları, jeotekstiller, havacılık ve otomotiv sektörleri için gelişmiş kompozitlerdeki takviye kumaşları, kurşun geçirmez yelekler ve spor (vuruş) eldivenleri gibi kişisel ve spor koruyucu giysiler yer almaktadır (Alderson ve diğerleri, 2012).

Kompozit malzemelere konvansiyonel tekstil malzemesi yerine auxetic yapıdaki malzemelerin dâhil edilmesiyle mukavemetin arttığı tespit edilmiştir (Alderson ve diğerleri, 2005). Bu nedenle kompozit yapıda mukavemet dayanımının arttırılması için auxetic tekstil malzemeler kullanılabilmektedir. Negatif Poisson oranına sahip kompozit auxetic malzeme; hafiflik, yüksek dayanıklılık ve özellikle patlama yükü altındaki yüklerden kaynaklanan enerji emme kapasitesi gibi birçok olağanüstü faydaya sahip bir malzemedir. Bu nedenle, sivil ve savunma amaçlı birçok önemli sektörde uygulanmıştır.

Zırhlı aracın alt yüzeyinde auxetic kompozit malzeme kullanılarak lineer olmayan darbe direncinin arttırılabileceği açıklanmaktadır (Nguyen ve Pham, 2018).

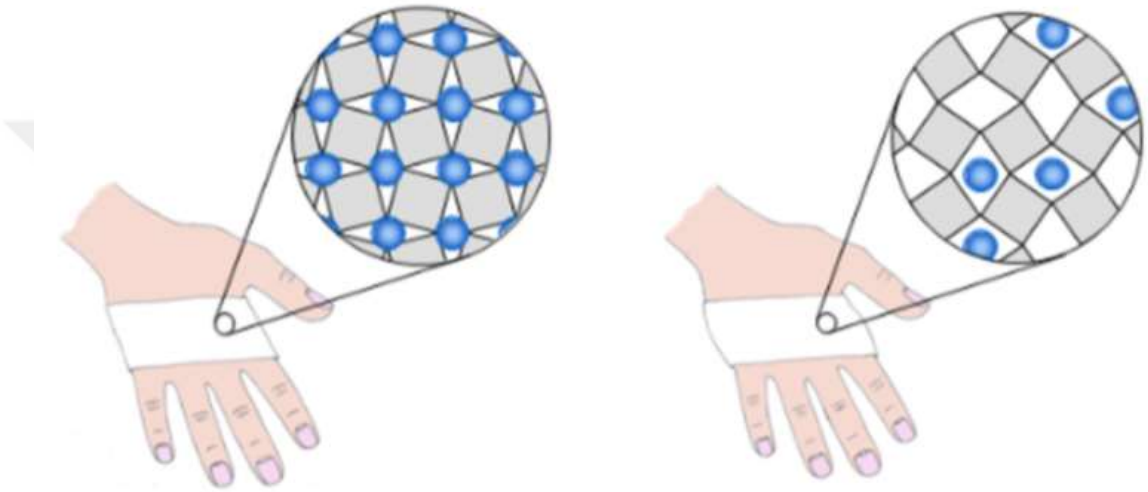
Kompozit malzeme üretiminde destek malzemesi olarak auxetic kumaşlar da kullanılabilmektedir. Konvansiyonel kumaşlarda kuvvet altında enine yönde daralma meydana geldiğinde kumaş-matriks arasında ayrılma meydana gelirken, yük altına enine yönde genişleme eğilimine sahip auxetic kumaşların kullanıldığı kompozit yapılarda kumaş-matriks arasında ayrılmalar meydana gelmediğinden dayanım artmaktadır (Asad ve diğerleri, 2019).

Filtre kumaşlarına gerilim uygulanarak gözenekler genişletilerek tıkanmaların önüne geçileceği, böylelikle filtre değişiminin azaltılacağını; bu tür filtrelerin endüstriyel amaçlı olarak, tıbbi filtrelerde ve otomotiv filtreleri olarak kullanılabileceği aktarılmaktadır (Hook, 2011).

Enerji absorbe edebilme ve kolay şekil alabilirliği nedeniyle auxetic yapıların koruyucu kıyafet ve malzemelerde kullanılması mümkündür. Araba yarışı, binicilik ve kayak gibi gibi sporlarda koruyucu giysiler kişiyi enerjiyi absorbe edebilmeleri nedeniyle korumaktadır. Fakat bu amaçla destek bölgelerinde kullanılan köpük malzemesi hava geçirgenliği için yeterli olmamaktadır. Spacer kumaş gibi 3D ve yüksek hava geçirgenliğine sahip ve aynı zamanda auxetic yapıda bir malzemenin destek malzemesi olarak kullanılması konfor özelliğini arttırmaktadır. İlaveten sinklastik özellik sayesinde kolay eğrilebilir olmaları özellikle dirsek, diz gibi bölgelerde kullanım rahatlığı sağlamaktadır (Ma, Chang, Boakye ve Jiang, 2017)

Auxetic kumaşların gerildiğinde genişleyen yapısı nedeniyle hava geçirgenliği yüksektir. Ayrıca bükülme durumunda sinklastik eğrilik oluşumu sayesinde kolay şekil alabilir yapıda olması nedeniyle vücut şekline uyacak kumaş üretimi mümkündür. Bu özellikleri sayesinde; koruyucu spor giyim, fonksiyonel iç giyim, çocuk giyim, hamile kıyafetleri, tıbbi bandajlar gibi birçok alanda kullanım alanına sahiptir (Wang ve Hu, 2013).

Auxetic örgü yapıları; ilacın cilde belirli aralıklarla aktarılması gereken medikal uygulamalarda, bandajlarda kullanılmaktadır. Enfekte olmuş yara şişerken auxetic bandaj da şişerek bandajdaki boşluklar genişlemesine ve yara iyileştirici ilacın serbest bırakılmasına neden olmaktadır. Yara iyileşmeye başlayınca şişlik inerek bandaja uygulanan kuvvet azaldığından bandaj küçülecek ve ilaç salınımı duracaktır. Böylece kontrolü ilaç gönderimini sağlamış olur (Şekil 2.33) (Uzun, 2010; Çukul, 2013; (Grima-Cornish, 2019)).



Şekil 2.33. Auxetic bandaj çalışma prensibi (Grima-Cornish, 2019)

Auxetic yapılar fonksiyonelliğin yanı sıra estetik amaçlı da kullanılabilmektedir. Auxetic ipliklerle üretilmiş bandajlarda yük altında gözeneklerin açılması sonucunda farklı renkteki diğer ipliklerin görünür hale gelmesi ve kumaş renginin değişmesi sağlanabilmektedir. Bu özellik sayesinde örneğin, kompresyon bandajlarında uygun gerilimin sağlanması amacıyla belirlenen gerilimde renk değişimi sağlanacak şekilde tasarımlar yapılabileceği aktarılmıştır (Wright, Burns, James, Sloan ve Evans, 2012).

Blakely ve Toronjo (2013), auxetic kumaşlardan üretilen ürünler başlıklı patent çalışmasında kask, şapka, gömlek, pantolon, şort, dizlik, ayakkabı, bot, sırt çantası vb. gibi ürünlerin üretiminde kullanılabilecek auxetic yapıları açıklamışlardır (Blakely ve Toronjo, 2013).

Cross ve diğerleri (2016), auxetic yapıların ayakkabılık kumaş ve üst giyim gibi spor alanlarında kullanımı amacıyla patent çalışmasında öncelikle farklı şekillerdeki auxetic birimler oluşturmuşlardır. Bu birimlerin ayakkabılık kumaşlarda kullanımı sayesinde esnekliğin sağlanacağı, tekrarlı kuvvetlere karşı dayanımın artacağı aktarılmıştır (Cross ve Podhajny, 2016)

Üst giysilik kullanımda kıyafetin vücudu sarma miktarının ayarlanabilmesi amacıyla - özellikle dirsek bölgesinde - bilek kısmında yer alan büzgü ipi vasıtasıyla kumaşa dikey doğrultuda gerilim uygulanarak enine yönde genişleme aktarılmıştır (Cross ve Podhajny, 2016)

Auxetic kumaşlar kullanarak giysi imal etmek, hızla büyüyen çocukların sorununun çözümü için aday olabilir. Ebeveynler genellikle, büyüyeceklerini dikkate alarak, çocuklarının boyutundan çok daha büyük kıyafetler alırlar. Sonuç olarak, çocuklar oynarken ciddi yaralanmalara neden olabilecek bol giysiler giyerler. Bu sorunun çözümünde, bir yönde bir çekme kuvveti uygulandığında her yönde genişleyen auxetic kumaşların kullanımıyla çocuklar için uzun ömürlü giysiler sağlayabilir. “Petit Pli” adlı çalışmada, çocukların hızla büyümeleri ve yeterince kullanılamadan küçük kalması soruna auxetic kumaşlarla çözüm aranmıştır. Auxetic kumaşların boyuna uzaması sonrası enine genişlemesi sayesinde giysilerin de çocuklarla hem en hem de boy yönlü uzamaları, böylelikle daha uzun süreli kullanılabileceği tasarımlar oluşturulmuştur (Şekil 2.34). “Büyüyen giysiler” kullanarak çocukların hızla değişen giysileri için sürdürülebilir bir alternatif geliştirilmiştir (Albag, 2021).



Şekil 2.34. Auxetic yapıda tasarlanan çocuk giysileri (‘Clothes that grow’, 2022)

2.6. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemleriyle İlgili Çalışmalar

Poisson oranı, kumaş deformasyonunun bir göstergesidir ve uygulanan kuvvet miktarı, kuvvet uygulama yönü, kumaş yapısı ve iplik özelliklerinden etkilenir. Poisson oranının tespitinde güvenilir sonuçlar elde etmek için özel ekipman, özen ve hassasiyet gerekmektedir. Bu nedenle literatürde, numune boyutu, çekme yükü (tek eksenli ve çift eksenli), numuneler üzerinde işaretleme, görüntü işleme teknikleri ve ölçüm tekniği için farklı yaklaşımların yapıldığı birçok çalışma yer almaktadır. Fakat bu çalışmaların bir deney standardına bağlı kalınarak yapılmadığı, kopma mukavemeti deneylerinden türetilerek farklı parametrelerde ölçümlerin gerçekleştirildiği ya da çalışmalarda bu parametrelerin verilmediği görülmektedir. Ayrıca numuneler üzerinde yapılan işaretlemeler (kumaş kenarından uzaklığı, noktalar arası mesafe, ölçüm sayısı…) değişkenlik göstermektedir. Farklı parametrelerin deney sonuçları üzerinde etkisi olacağından, Poisson oranı ölçümünde mevcut deney standartlarıyla ölçümün gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

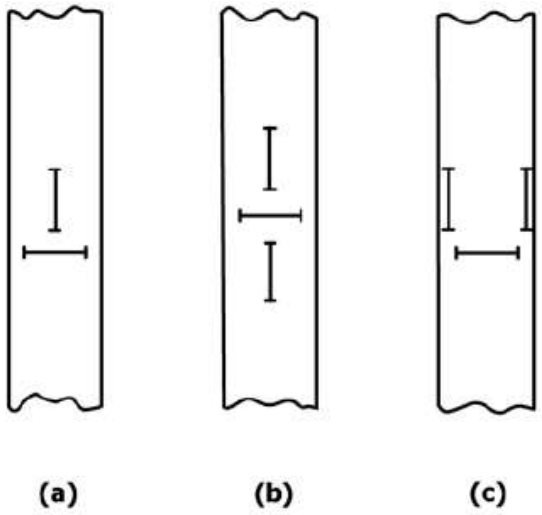
Poisson oranını belirlemek için çekme testi çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmış olsa da, Poisson oranının gerçek değeri ve boy yönündeki uzama ile enine yöndeki azalma veya daralma arasında farklılıklar bulunmaktadır. Çünkü numuneler farklı bölgelerinde farklı davranışlar göstermektedir (Penko ve Geršak, 2016).

Bais-Singh ve diğerleri (1996); numune boyutlarının Poisson oranına etkisini incelemiştir. Farklı genişlikte ve uzunlukta hazırlanan numunelerin süreye bağlı olarak PR değerleri ölçülmüştür. Kısa – geniş (a), uzun – geniş (b), uzun – dar (c) olmak üzere farklı ebatlardaki numunelerin süreye bağlı olarak enine yönde değişimleri (daralmaları) aktarılmıştır. Geniş numunelerde enine yönde daralma miktarının azaldığı, dar numunelerde kuvvet altında daha fazla daralma meydana geldiği aktarılmıştır. Çenelere yakın bölgelerde, çene etkisi nedeniyle daralmanın fazla olduğu, numunelerin orta bölümlerinde bu etkinin azaldığı tespit edilmiştir. Numune uzunluğu arttıkça enine daralma miktarı artmıştır. Ayrıca ölçümün kenarların kıvrılmasından etkilendiği ve bu özelliğin ölçülmesinde hatalara yol açabileceği, bu nedenle numunelerin yeterli genişlikte olması gerektiği aktarılmıştır (Bais-Singh, Anandjiwala ve Goswami, 1996). PR ölçümünde numunelere çene etkisini ortadan kaldırmak için numunenin yeterince uzun olması gerekir (Ezazshahabi, 2020).

Poisson oranı ölçümüyle ilgili çalışmalar, UTT cihazlarının PR ölçümlerinde yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir. Literatürde kendi tasarladığı cihazlarla PR ölçümünün yapıldığı bazı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kuvvet belirli bir uzama değerine kadar uygulanmakta, numuneden görüntü alınmakta ve numune uzatılmaya devam etmektedir. Bu nedenle numunelere kesikli olarak kuvvet uzama testi prosedürü uygulanmaktadır. Fakat bu durum gerçek kullanım şeklini doğru bir şekilde simüle etmemektedir. Gerçek kullanım durumunda kuvvet kumaşa kesintisiz bir şekilde uygulanmaktadır.

Morton ve Hearl (2008) deneylerin sonuçlarının süre ve yükün uygulanma şeklinden etkileneceğini belirtmektedir (Morton ve Hearl, 2008). Bu nedenle, Bais-Singh ve diğerlerinin (1996) çalışmasına paralel olarak, PR ölçümünde numune boyutları, işaretleme yapılan noktalar arasındaki mesafe, çene mesafesi, çene hızı gibi deney parametreleri sonuçlar üzerinde etkilidir. Literatürde elde edilen sonuçlar arasında bir ilişki kurulabilmesi için bu parametrelerin aynı olması gerekmektedir. PR ölçümü için literatürde ASTM E132-17 “Standard Test Method for Poisson’s Ratio at Room Temperature” adlı deney standardı bulunmaktadır. Bu standarda göre; En ve boy yönlü değişimlerin ölçümü için minimum iki adet ekstensometre ile ölçüm yapılmalıdır.

Ekstensometre ölçümü Şekil 2.35'de gösterildiği üzere farklı pozisyonlarda yerleştirilerek yapılabilmektedir.



Şekil 2.35. Ekstensometrenin farklı yerleşim örnekleri (American Society for Testing and Materials, 2017)

Ölçüm yapılacak cihazda çene mesafesi numune en yönünde ölçüm mesafesinin minimum 7 katı uzunluğunda, numune boy yönünde ölçüm mesafesi ise, en yönünde ölçüm mesafesine göre minimum 5 kat uzunlukta olmalıdır. En yönünde ölçülecek mesafe, kumaş kalınlığından az olmamalıdır. Numuneler mukavemet test cihazında düşük hızlarda uzatılarak en ve boy yönlü değişimler ölçülerek PR değeri hesaplanmaktadır (American Society for Testing and Materials, 2017).

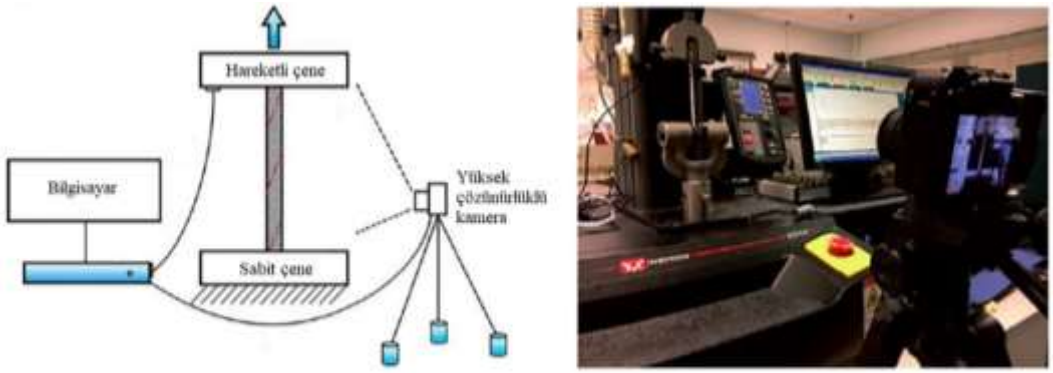
2.6.1. Universal mukavemet ölçüm cihazı (UTT) ile yapılan çalışmalar

PR ölçümlerinin UTT ile gerçekleştirdiği çalışmalarda; biri sabit diğeri hareketli iki çene arasına yerleştirilen numune üzerine çok sayıda ölçüm noktası işaretlenmektedir. Düşey doğrultuda gerilim uygulanarak numuneler uzamaya zorlanırken yatay doğrultuda meydana gelen değişimleri gözlemlemek için belirli aralıklarla görüntü alınmakta ve görüntü işlem programları yardımıyla en yönlü değişimler ölçülmektedir. Ardından PR hesaplanmaktadır (Alderson ve diğerleri, 2012; Cao ve diğerleri, 2018; Chang ve Ma, 2018; Chang ve diğerleri, 2017; Chen ve diğerleri, 2020; Hu ve diğerleri, 2011; Jinyun ve diğerleri, 2010; Liu ve diğerleri, 2010; Lolaki ve Shanbeh, 2019; Miller

ve diğerleri, 2009; Nazir ve diğerleri, 2019; Shen ve Adanur, 2019; Wang ve Hu, 2017; Xu, Sun, Raji ve Ma, 2019). Ölçüm yapılan numune boyutları, çene mesafesi ve hız gibi deney parametrelerinin bazı çalışmalarda aktarılmadığı görülmüştür (Hu ve diğerleri, 2011; Ali ve diğerleri, 2018).

Örme kumaşlarla ilgili yapılan çalışmalarda; 170x150, 150x50, 200x50, 180x50, 100x40, 250x50 mm gibi farklı boyutlarda hazırlanan numuneler 100-150 mm çene mesafelerinde, 30-50-60-200 mm/dk gibi farklı hızlarda uzatılarak belirli uzama değerlerine kadar poisson oranları ölçülmüştür (Alderson ve diğerleri, 2012; Cao ve diğerleri, 2018; Chang ve Ma, 2018; Chang ve diğerleri, 2017; Jinyun ve diğerleri, 2010; Liu ve diğerleri, 2010; Wang ve Hu, 2013; Xu ve diğerleri, 2019; Zhao ve diğerleri, 2021).

İpliklerde yapılan çalışmalar incelendiğinde, 250 mm çene mesafesinde 50 mm/dk hızla kuvvet uygulanmıştır (Ge ve diğerleri, 2016). 175 mm çene mesafesine yerleştirilen iplikler 1 mm/dk hızla 3 mm uzunluğunda uzatılmıştır (Miller ve diğerleri, 2009). 70 mm uzunluğundaki iplikler 50 mm çene mesafesine yerleştirilerek çene mesafesinin 0,1 katı /dk hızla (50 x 0,1 = 5 mm/dk) çekmeye zorlanmıştır (Sloan ve diğerleri, 2011). Jiang ve Hu (2019), braid auxetic iplikleri 150 mm çene mesafesine yerleştirerek 0,3 mm/sn hızla %25 oranında uzatarak kuvvet uygulamıştır. Numuneleri tekrarlı kuvvet altındaki Poisson değerlerini ölçmek için %25 uzama değerinde 5 sn bekletmiş ve tekrar başlangıç pozisyonuna dönerek 5 çevrim tamamlanmıştır. Belirli aralıklarla çekilen fotoğrafları MATLAB programına aktararak en ve boy yönlü değişimler ölçülmüştür (Şekil 2.36) (Jiang ve Hu, 2019).



Şekil 2.36. Braid auxetic iplik (BAY) Poisson oranının ölçümü için kurulan deney düzeneği (Jiang ve Hu, 2019)

Kumaş ölçümlerinde; 200 x 50 mm ölçülerinde hazırlanan numunelere 150 mm çene mesafesinde 50 mm/dk hızla kuvvet uygulanmıştır (Wang ve Hu, 2013). 150 x 50 ölçülerinde numuneler, kopma uzunluğunun %10'u kadar uzatılarak kuvvet uygulanmıştır (Alderson ve diğerleri, 2012). 150 mm çene mesafesine yerleştirilen numunelere 30 mm/dk hızla kuvvet uygulanmıştır (Cao ve diğerleri, 2018). 170 x 150 mm ölçülerinde kesilen numuneler 150 mm çene mesafesinde çalışmada tanımlanmayan bir hızla uzatılmıştır (Liu ve diğerleri, 2010).

Sloan ve diğerleri (2011), ASTM D3822-07 lif mukavemet ölçümü deney standardını revize ederek PR ölçümünü gerçekleştirmiştir. Numune üzerindeki işaretlemeleri "çene mesafesi/10" olacak şekilde belirledikten sonra ipliğin orta bölümünde iki nokta işaretlenmiştir. Çene mesafesi 50 mm seçilmiştir. Çene hızı "çene mesafesi/10" birim/dk olacak şekilde belirlenerek üniversal mukavemet test cihazında numunelere kuvvet uygulanmıştır. Görüntüler kamerayla kayıt altına alındıktan sonra ImageJ yazılımına aktarılarak PR değerleri ölçülmüştür (Sloan ve diğerleri, 2011).

Wang ve diğerleri (2014), numune ebatlarının Poisson oranı değerine etkisini araştırdıkları çalışmada; numuneleri 25, 50 ve 100 mm genişliklerinde keserek üzerine işaretlemeler yapmıştır. 150 mm çene mesafesinde 30 mm/dk hızla kuvvet uzamaya zorlanan numunelerin PR değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre 100 mm genişliğindeki en geniş numunelerin PR değerlerinin daha düşük olduğu, diğer (25 ve 50 mm genişliğindeki) numunelerdeki sonuçların birbirine yakın olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca 25 mm genişliğindeki numune sonuçlarında deney başlangıcındaki PR değerlerinde tutarsızlıklar olduğunu, bunun da kenar kıvrılmaları nedeniyle oluştuğu aktarılmıştır (Wang ve diğerleri, 2014). Bu nedenle PR ölçümünde deney parametreleri elde edilen sonuçlar üzerinde etkilidir. Numune boyutları, çene mesafesi, işaretlenen noktalar arası mesafe, kuvvet uygulama hızı gibi parametreler PR değerini değiştirmektedir. Literatürdeki çalışmaların tutarlı olabilmeleri, birbirleriyle kıyaslanabilmeleri açısından ölçümlerin belirli standartlara göre yapılması gereklidir. Bu amaçla ASTM E132-17 "Standard Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature" deney standardı kullanılabilir.

2.6.2. Diğer ölçüm cihazlarıyla yapılan çalışmalar

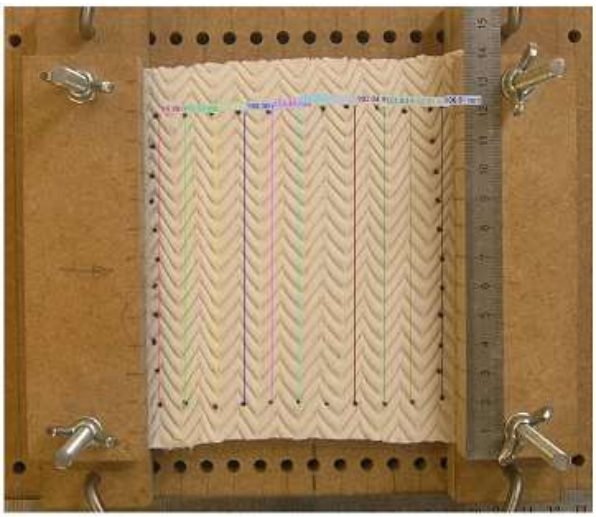
Lloyd ve Hearle (1977), elastik modül değeri bilinen kumaşların PR değerinin hesaplanmasını incelemiştir. Hesaplanan ile ölçülen PR değerinin farklı olduğu, bu farkın ölçüm esnasında numunenin çenelere yerleşiminden ve numune ölçülerinden kaynaklanmış olabileceği aktarılmıştır (Lloyd ve Hearle, 1977).

PR ölçümünde UTT haricinde başka cihaz/materyalle yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar; malzemeye farklı cihazlarla kuvvet uygulanması ve daha sonra elde edilen görüntülerden Poisson değerlerinin hesaplanmasıyla yapılmaktadır.

Jinyun ve diğerleri (2010), PR ölçümünün uzun ve zahmetli bir işlem olduğunu ve Poisson değeri ile malzemenin elastik modül değeri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Üretilen örme kumaşları Kawabata sisteminde yer alan cihaza yerleştirerek çift eksenli kuvvet değişimini incelemiştir. 100 x 100 mm ölçülerindeki numunelere 10 mm/dk hızla kuvvet uygulanarak en ve boy yönlü modül değerleri elde edilmiştir. Elastik modül değerleri oranlanarak Poisson değeri hesaplanmıştır. Çift eksenli kuvvet uygulanarak hızlı bir şekilde Poisson oranının ölçülebileceği aktarılmıştır (Jinyun ve diğerleri, 2010).

Glazzard ve Breedon (2014), 100 x 100 mm ölçülerinden geniş numuneleri Şekil 2.37'de görüldüğü gibi 100 mm çene aralığına sahip bir düzeneğe sabitlemiştir.

Numune üzerine 10 mm aralıkla işaretlemeler yapılmıştır. Çeneler belirli mesafede uzatılarak numunelerdeki en–boy yönlü değişimler görüntü işlem programıyla ölçülmüştür (Glazzard ve Breedon, 2014).



Şekil 2.37. Numunelerin poisson oranının ölçümü için hazırlanmış deney düzeneği (Glazzard ve Breedon, 2014)

Steffens (2016), en ve boy yönlerinde iki nokta işaretleyerek hazırladığı numunelere kumaş gerdirme tertibatıyla kuvvet uygulamıştır. Numune boyutu ve işaretleme mesafesiyle ilgili bilgi verilmemiştir (Steffens, Rana ve Fangueiro, 2016).

Boakye (2018), Poisson oranının ölçümü için farklı çaplarda silindirler kullanmıştır. Bu amaçla üretilen 5 farklı çaptaki silindirlerin üzerine tüp formunda üretilen kumaşları giydirerek numunelere en yönlü farklı gerilim uygulanmıştır. Gerilim sonucunda kumaşların boy yönündeki değişimleri ölçülerek farklı uzama değerlerindeki PR hesaplanmıştır (Boakye ve diğerleri, 2018).

Chen ve Du (2020); heliksel yapıdaki, auxetic ipliklerin PR değerini ölçmek üzere düzenek oluşturmuştur. 100 mm çene mesafesine yerleştirilen iplikler 1 mm/sn hızla çekilerek elde elde edilen görüntüler ImageJ programına aktarılmış ve uzama değerine bağlı olarak PR değerleri ölçülmüştür (Chen ve Du, 2020).

Razbin ve diğerleri (2021), PR ölçümünde işaretlenen noktalar arasındaki mesafe ölçümüne alternatif olarak alan hesabının kullanılmasını incelemiştir. Uzama arttıkça auxetic numunelerde alanın artacağı, alansal değişime göre PR değerinin hesaplanabileceği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre noktalar arasındaki mesafeye göre hesaplanan PR değeri ile alansal hesaplama yöntemiyle elde edilen PR değerinin benzer olduğu aktarılmıştır (Razbin, Jeddi, Semnani ve Ramzanpoor, 2021).

Sonuç olarak, literatürdeki çalışmalar araştırmacıların ipliklerin ve kumaşların poisson değerlerini farklı ölçüm yöntemleri ve ölçüm parametreleri kullanarak tespit ettiğini göstermektedir. Poisson ölçümü temel açıdan bakıldığında bir kuvvet-uzama testidir. Morton ve Hearl (2008), numune boyutlarının, sürenin ve kuvvetin uygulanma biçiminin test sonuçlarının üzerinde doğrudan etkiye sahip olduğunu belirtmektedir. (Morton ve Hearl, 2008). Yapılan çalışmalarda elde edilen PR değerlerinin kıyaslanabilmesi ve sonuçların etkinliğinin incelenebilmesi için ölçüm parametrelerinin aynı olması gerekmektedir. Bu amaçla ASTM E132-17 "Oda sıcaklığında Poisson oranı test metodu" deney standardı kullanılabilir.

2.7. Örme Kumaş Konforuyla İlgili Çalışmalar

Günümüz insanı yoğun çalışma saatlerinin dışındaki serbest zamanlarını spor yaparak, seyahat ederek veya başka aktivitelerle değerlendirmeyi tercih etmektedir. Ancak yapılan aktivite ne olursa olsun vazgeçilmeyen tek unsur içinde rahat edilebilecek, kullanışlı bir giysidir. Bu amaçla; esnekliği yüksek, gerektiğinde vücudu ikinci bir deri gibi saran vücut hareketlerini engellemeyen, az buruşan ve giysi konforu yüksek olan örme kumaşlar serbest zaman ve spor giysilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bayazıt, 2002).

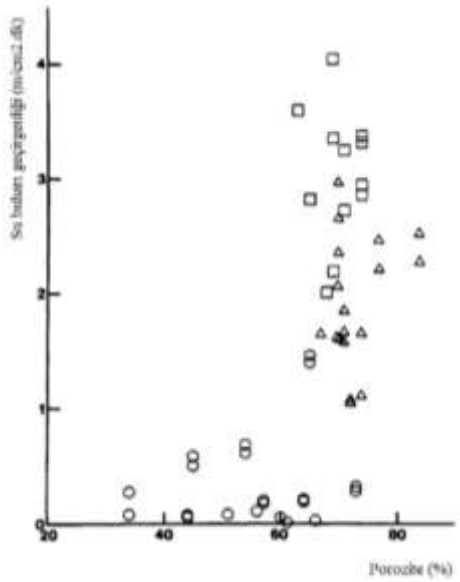
Giysi konforu; kullanıcıların kendilerini sıcak, soğuk, kaşıntı, acı, batma hissinin yanı sıra sosyal ortamlarına uygun olmasını istedikleri hem fizyolojik hem de psikolojik kavramların yer aldığı oldukça karmaşık ve geniş bir araştırma alanıdır (Güneşoğlu ve Meriç, 2006). Son yıllarda; spor, dış mekân ve diğer koruyucu giysileri içeren fonksiyonel giysilerin önemi artmıştır. Bu nedenle sporcuların gereksinimlerini

karşılamak için kumaşın nefes alabilirliği (nem geçirgenliği ve hava geçirgenliği) ve termal özellikler iyileştirilmelidir. Elyaf tipi (doğal, sentetik veya karışım), kumaş yapısı (dokuma veya örme) ve örgü yapıları spor giyim kumaşlarının termal ve nefes alabilirlik özelliklerini etkileyen önemli parametrelerdir. Isı yalıtımı, nefes alabilirlik ve ısı ve nem geçirgenlik özellikleri konfor hissini fizyolojik açıdan etkiler.

İnsan vücut ısısı belli bir seviyenin üzerine çıktığında terin buharlaşması ile etkili bir soğutma sağlanır. Giysiler bu işlem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle giyim, insan vücudunun fizyolojisini güçlü bir şekilde etkiler. Deri yoluyla ısı salınımı, kuru ısı kayıpları ve buharlaşma yoluyla kayıplar olarak ikiye ayrılabilir. İlki, konveksiyon iletim ve ek olarak çevreleyen yüzeylerle ışıma alışverişi olarak ikiye ayrılabilir. Kuru ısı kaybı; giysinin kendisinin yalıtımına ve deri ile giysiler arasındaki hava katmanının ve sırasıyla farklı giysi katmanları arasındaki havanın yalıtımını içeren giysinin yalıtımına bağlıdır. İkincisi, çevre ile olan buharlaşmalı ısı alışverişi, derideki terin buharlaşmasıyla insan vücudundaki ısının uzaklaştırılmasıdır. Bu süreç esas olarak termoregülasyon sistemi, giysinin nüfuz etme verimliliği ve çevreleyen havanın su buharı basıncı tarafından yönlendirilir. Buharlaşan ve üretilen ter oranı düşükse, giysi katmanında nem birikir. Bu işlem, boyut, şekil ve sertlikte değişikliklere neden olan liflerin şişmesi nedeniyle giysinin termal özelliklerini etkiler. Isı değişimi önce deri ve giysi arasında gerçekleşir ve daha sonra giysinin kısmi buhar basıncı değiştikçe, giysi ve çevre arasında ısı alışverişi olur (Voelker, Hoffman, Arens ve Zhang, 2009). Termo fizyolojik konfor, insan vücudu ile çevre arasında gerekli olan ısı ve nem akışının bir sonucudur (Mangat ve diğerleri, 2015).

Konforun önemli olduğu spor giysilerde örme kumaşlar tercih edilmektedir. Konfor, fiziksel aktivite esnasında kişinin algıladığı fizyolojik histir. Örme kumaşlar mükemmel konfor özelliklerine sahiptir. İdeal konforu elde etmek için sıcaklık ve terin vücuttan hızlıca uzaklaştırılarak havaya karışması gerekmektedir. Porozite bu davranışı etkileyen parametrelerden biridir (Karaguzel, 2004). Porozite (kumaş gözenekliliği); ipliklerin kapladığı alan ile toplam kumaş arasındaki orandır. Dokuma kumaşlarda %34-66, örme kumaşlarda %63-84 arasında porozite değerleri bulunmaktadır. Guidoin ve diğerleri; porozite ve su buharı geçirgenliği değerleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve porozite

arttıkça su buharı geçirgenliğinin arttığını (Şekil 2.38) belirtmiştir (Guidoin ve diğerleri, 1987).



Şekil 2.38. Porozite ve su buharı geçirgenliği değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi (Guidoin ve diğerleri, 1987)

Giysilerin ısıl konforu; kumaşların ısıl direnci, su buharı direnci, nem yönetimi ve hava geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Kumaşın ısıl iletkenliği ise kullanılan elyafın türüne ve kumaş gözenekliliğine bağlıdır. Bir kumaş üç maddeden oluşur; polimerler (lifler), kumaş yapısına hapsolmuş hava ve kumaşın içinde bulunan nem miktarı (Mangat, Bajzik, Hes ve Mazari, 2015). Kumaş gözenekliliği arttıkça daha fazla havayı hapsedebilir. Kumaş yapısındaki hava, ısıl iletkenliği düşürür ve ısıl direnci arttırır (Palani Rajan, Kandhavadivu ve Periyasamy, 2021). Giysilerin ısı yalıtımı, kumaş katmanlarının içindeki ve arasındaki durgun hava içeriğine bağlıdır. Aktivite seviyesinin veya çevre sıcaklığının büyük ölçüde değiştiği durumlarda, hava içeriği değiştirilerek giysilerin termal izolasyonu ayarlanabilir (O'Mahony ve Braddock, 2002).

Liflerin ısıl iletkenliği önemli olmakla birlikte, kumaş haline getirildikten sonra içinde bulunan hava miktarı da büyük önem kazanmaktadır. Polimerler ve tekstil lifleri, içinde hapsettiği havanın da sayesinde ısı izolatörü olarak davranış gösterir. Örneğin, pamuk lifi ipeğe göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir ve ısıyı daha kolay iletebilmektedir.

Ayrıca havanın iyi bir izolatör olması nedeniyle bünyesinde havayı hapsedelen yapılar yalıtkan özelliktedir (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007).

Isıl iletkenlik; bir malzemeden birim kalınlıkta, 1^0K sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsüdür. Malzemenin iki yüzeyi birim sıcaklık farkına maruz kaldığında gerçekleşmektedir. Giysilerde yüksek ısıl iletkenlik özelliği, fiziksel aktiviteler sırasında vücutta oluşan ısının uzaklaştırılmasını desteklemektedir. Kumaşlarda ısıl iletkenlik değeri, liflerin ısıl iletkenlik katsayısının yanında, kumaş içerisinde hapsedilen hava miktarı ile de yakından ilgilidir. Havanın ısıl iletkenlik katsayısı oldukça düşüktür ve bu nedenle içerisinde fazla miktarda hava ihtiva eden liflerin ısıl iletkenlik katsayıları da düşük olmaktadır (Oğlakçıoglu ve Marmaralı, 2013).

Isıl iletkenlik ölçümünde genellikle kumaş farklı sıcaklıklara sahip iki plaka arasına yerleştirilerek sıcak plakadan soğuk plakaya geçen ısı miktarı ölçülmektedir (Mangat ve diğerleri, 2015; Özkan ve Kaplangiray, 2019). Bu amaçla piyasada yaygın kullanıma sahip "Alambeta" test cihazı kullanılmaktadır. Isıtıcı kullanılarak üst plaka insan cilt sıcaklığı olan 32ºC'ye ısıtılır. Alt (soğuk) plaka 22ºC'de tutularak iki plaka arasında 10ºC'lik bir sıcaklık farkı oluşturulur. Kumaş, alt (soğuk) plakanın üzerine yerleştirilir ve üst (sıcak) plaka aşağı indirilerek 200 Pa basınç oluşturacak şekilde kumaşa baskı uygular. Böylelikle kumaşın belirlenen ortam şartlarında ısı geçişine ne kadar müsaade ettiği ölçülmektedir.

Hava geçirgenliğinde sabit veya düşük hızdaki havanın materyal içindeki geçişi söz konusudur. Hava geçirgen bir malzeme genel olarak buhar veya sıvı fazda suyu da geçirir; bu nedenle su buharı geçirgenliği ve sıvı su iletim özelliği hava geçirgenliği ile yakından ilişkilidir. Bir kumaşın termal direnci ile bünyesindeki durağan hava tabakası arasında kuvvetli ilişki vardır ve hava tabakası kumaş hava geçirgenliğinden etkilenmektedir (Turan ve Okur, 2012).

Su buharı geçirgenliği özelliği kumaşın su buharı iletebilme yeteneğidir. Birim alandan birim zamanda bir paskal basınç altında gram cinsinden geçen su miktarı olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle bağıl su miktarı geçirgenliği (%) olarak

değerlendirilmesi mümkündür. Özellikle yoğun fiziksel aktivite sonrasında oluşan terin vücuttan uzaklaştırılması ve yüksek vücut sıcaklığının düşürülmesi vücut konforu açısından oldukça önemlidir. Bu noktada giysilerin nem iletim özelliklerinin rolü büyüktür. Ancak terin oluşumu öncesinde oluşan fazla ısı eğer su buharı halinde transfer edilebilirse deride ıslaklık hissi oluşmadan vücut sıcaklığı dengelenebilir (Oğlakçıoglu ve Marmaralı, 2013). Su buharının, kumaş içinden olan hareketliliği büyük oranda kumaşın mikro gözenekli yapısına bağlıdır ve bu yapıyı değiştiren her işlem, kumaş ve giysilerin su buharı geçirgenliğini değiştirir. Su buharı iletimi, iplikler arası hava gözeneklerinin oluşturduğu bir özelliktir (Biltekin, 2019).

Afzal ve diğerleri (2016), kumaş parametrelerinin termal özelliklerine etkisini incelemiştir. Farklı oranda pamuk/polyester ipliklerin yer aldığı ve gevşek, orta ve sıkı örgü yapısında örülen numunelerin termal özellikleri ölçülmüştür. Kumaş gramaj değerinin azalması, ince iplik kullanımı ve kalınlığın azalması gibi parametrelerin kumaş soğurganlığını azalttığı belirtilmiştir. Kışlık ürün tasralanırken bu faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekliliği açıklanmıştır (Afzal, Ahmad, Rasheed, Ahmad, İftikhar ve Nawab,2017).

Jhanji ve diğerleri (2017), elyaf, iplik ve kumaş değişkenlerinin süprem kaplamalı kumaşların ısı ve nem taşıma özelliklerine etkisi incelemiştir. İki katmanda farklı elyaf, iplik ve kumaş kombinasyonları ile tasarlanan çift katmanlı kumaşların farklı termal, nem buharı ve sıvı transfer özelliklerini yansıtabilme kabiliyetleri sayesinde değişen ortam koşullarında etkin bir şekilde kullanılabileceği aktarılmıştır. İç katmandaki iplikler inceldikçe pamuk/polyester ve pamuk/viskon kumaşlarda su buharı geçirgenliğinde, hava geçirgenliğinde artış gözlenirken ısıl direnç, ısıl emicilik, ısıl iletkenlik ve su emiciliğinin azaldığı belirtilmiştir. Böylelikle bireyin aktivite seviyesinin yüksek olduğu ve hissedilir ter oluşumuna neden olduğu zamanlarda kullanımının uygun olduğu açıklanmıştır. İç katmandaki lif tipine bakılmaksızın ilmek uzunluğundaki artışla bağıl su buharı geçirgenliğinde, hava geçirgenliğinde ve su emiciliğinde artış olurken ısıl direnç, ısıl iletkenlik ve ısıl soğurgan değerinde azalma gözlendiği de aktarılmıştır (Jhanji, Gupta ve Kothari, 2017).

Selli ve Turhan (2017), örgü yapısı, iplik numarası ve gramajın hava geçirgenliği ve nem iletimi gibi konfor özelliklerine etkisini incelemiştir. %100 pamuklu süprem, 1x1 ve 2x1 rib örgülerde numuneler üretilmiştir. Kumaş gramajı arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığı belirtilmiştir. Rib numunelerin hava geçirgenliği değerlerinin süpreme göre daha fazla olduğu, bunun nedeni olarak da süprem numunelerin daha ince makinada örülmüş olduğu açıklanmıştır (Selli ve Turhan, 2017).

Termal soğurma değeri tekstil ürünlerinin sıcak ya da soğuk hissedilmesi için önemli bir etkendir. Mangat ve diğerleri (2017) vücut temas alanı ile kumaş arasındaki etkileşimin termal soğurma değerine etkisini incelemiştir. Farklı örgü yapılarına sahip ribana kumaşların vücuda temas alanları arttıkça termal soğurganlık değerinin arttığını belirtilmiştir (Mangat, Hes, Bajzik ve Mazari, 2017)

Nagy ve diğerleri (2018), spor aktivitelerinde kullanılacak t-shirt ürünlerde pamuk, yün, viskon, polipropilen, polyester, tencel ve bunları karışımlarının kullanılmasının konfor özelliklerine etkisini incelemiştir. Yünden üretilen numuneler termal direnç ve su buharı geçirgenliği değerlerine göre daha konforlu hissedilmesini sağlarken vücuda temas ettiğinde rahatsızlık hissi uyandırmakta olduğu, bu nedenle hammadde seçiminde termofizyolojik etkilerin göz önünde bulundurulması gerektiği aktarılmıştır (Nagy, Koldinská, Havelka ve Jandová, 2018).

Özkan ve Kaplangiray (2019); ring, tekstüre ve özel kesit yapıda olmak üzere üç farklı polyester iplikten üretilmiş örme kumaşların konfor özelliklerini incelemiştir. Tekstüre polyester iplik örme kumaşların en yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu, polyester ipliklerle örülmüş kumaşların, MMT derecelendirme ölçeğine göre nem yönetimi özelliklerinin çok iyi seviyede oldukları aktarılmıştır (Özkan ve Kaplangiray, 2019).

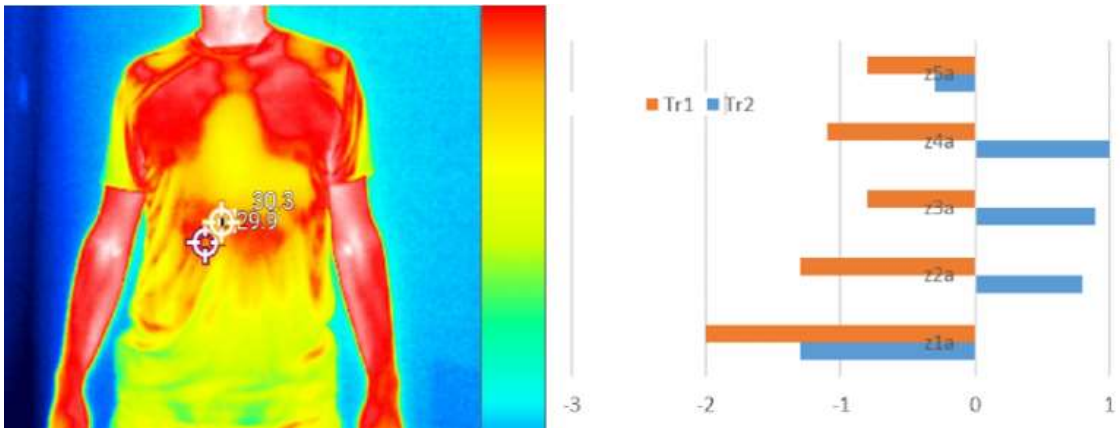
Özkan ve Kaplangiray (2020), spor giyim kumaş özelliklerinin sporcuların termofizyolojik konforu üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada numunelerin; hava geçirgenliği, nem yönetimi, ısıl direnci ve su buharı direnci incelenmiştir. Süprem ve file örgü olmak üzere iki farklı örgü yapısında üretilen kumaşlardan "tencel iplikli süprem" numunelerin hava geçirgenliği yüksek iken, su buharı direnci en düşük

numunelerin “file örgülü polyester” yapısında olduğu aktarılmıştır. Sporcu kıyafetlerinde termofizyolojik konfor açısından tencel iplik ve file örgülü numune kombinasyonlarının tercih edilebileceği belirtilmiştir (Ozkan ve Kaplangiray, 2020).

Agarwal ve diğerleri (2021), yüzey özellikleri geliştirilmiş polyester kumaşlarda su buharı geçirgenliğini farklı yöntemlerle ölçmüştür. Bu yöntemlerden biri; su buharı geçirgenliğinin Infrared kamera ile tespit edilmesidir. Buna göre kumaş sabitlenerek alt bölümünde 37 ^{0}C sıcaklıkta su bulunmaktadır. Kumaşın 30 cm üzerine yerleştirilen Infrared kamera ile kumaş yüzeyinde su buharı geçirgenliğine bağlı olarak Infrared değişimleri belirli aralıklarla kaydedilerek görüntü işleme programına aktarılmıştır. Böylece, zamana bağlı olarak su buharı geçirgenliği ölçümü gerçekleştirilmiştir (Agarwal, Jassal ve Agrawal, 2021).

Babalık ve diğerleri (2021), spor giyim ürünlerinin konfor değerlendirmesinde yeni yaklaşımların incelendiği çalışmada kumaş performans özelliklerinin birçoğu üzerinden “Toplam konfor değeri” hesaplanarak metot geliştirmeyi hedeflemiştir. Toplam konfor değeri; mekanik konfor; kumaş kalınlığı, gramaj, kat düzelme açısı, patlama mukavemeti, boncuklanma, uzama, termal konfor; nem iletimi, su buharı geçirgenliği, hava geçirgenliği, termal iletkenlik olmak üzere iki başlık altında toparlanmıştır. Tüm ölçümler; 0,1-10 aralığındaki skala değeri üzerinden yeniden tanımlanarak her kumaş için tüm parametrelerin yer aldığı skor değeri hesaplanmıştır (Babalık, Güneşoğlu, Ütebay, Bakadur ve Güneşoğlu, 2021)

Cubric ve diğerleri; spor giyim ürünlerinin efor esnasındaki termal özelliklerini incelediği çalışmada, numunelerin farklı antrenman türlerindeki (Tr1 ve Tr2) ısıl özelliklerini termal kamera ile ölçmüştür (Şekil 2.39). Belirlenen ölçüm noktarlarındaki sıcaklık değerleri kaydedilerek numunelerin ısıl iletkenliği değerlendirilmiştir (Cubric, Cubric, Matkovic ve Cuden, 2021).



Şekil 2.39. Spor giysilerin ısıl iletkenliğinin termal kamera ile kaydedilmesi ve belirlenen noktalardaki farklılıkların ölçülmesi (Cubric ve diğerleri, 2021)

Mandal ve diğerleri (2021), koruyucu kıyafetlerin konfor özelliklerini incelediği çalışmada numunelerin ısıl geçirgenliğini kalorimetre ile ölçmüştür. Farklı olarak, nem miktarının ısıl iletkenliği etkilemesi nedeniyle ölçümleri %0, %20 ve %50 nem değerlerinde gerçekletirilmiştir. Numune yapısındaki nem miktarı arttıkça ısıl iletkenliğin azaldığını, buna bağlı olarak ıslak ortamda daha yalıtkan özelliğe sahip olduğu aktarılmıştır (Mandal ve diğerleri, 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Auxetic yapıda örme kumaşların geliştirilmesi ve yapısal özelliklerinin araştırılması konulu tez çalışması kapsamında öncelikle el örgü makinesinde farklı örgü yapılarında auxetic özellikte kumaşlar üretilmiştir. Üretilen numunelerden elde edilen sonuçlara göre seçilen örgü yapıları işletme ortamında üretilerek Poisson oranları ölçülmüştür. Yüksek auxetic özellik gösteren kumaşların PR ölçümünde karşılaşılan sorunlar nedeniyle PR ölçüm yönteminde farklı cihaz kullanımı ve test metodunda modifikasyonlar önerilmiştir. Önerilen metot ile mevcut metot kıyaslanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasından elde edilen sonuçlar ışığında daha fazla örgü yapısı, farklı malzeme kullanımı gibi ihtiyaçlar nedeniyle tez konusu ile ilgili TUBİTAK 1001 projesi hazırlanmış, proje kabul edilmiş, proje kapsamında Stoll marka E7.2 incelikte düz örme makinesi temin edilmiştir. Böylece tez çalışmasının ikinci aşamasında örgü yapısının etkisini görebilmek için çok sayıda kumaş numunesi üretme olanağı sağlanmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında iplik numarası, iplik katsayısı ve kumaş relaksasyon yönteminin Poisson oranına etkisi incelenmiştir. Dördüncü aşamada kumaş yapısında elastanlı iplik kullanımının Poisson oranına etkisi incelenmiştir. Beşinci ve son aşamada ise nihai olarak üretilen numunelerin performans özelliklerinin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının PR değeriyle ilişkisi incelenmiştir.

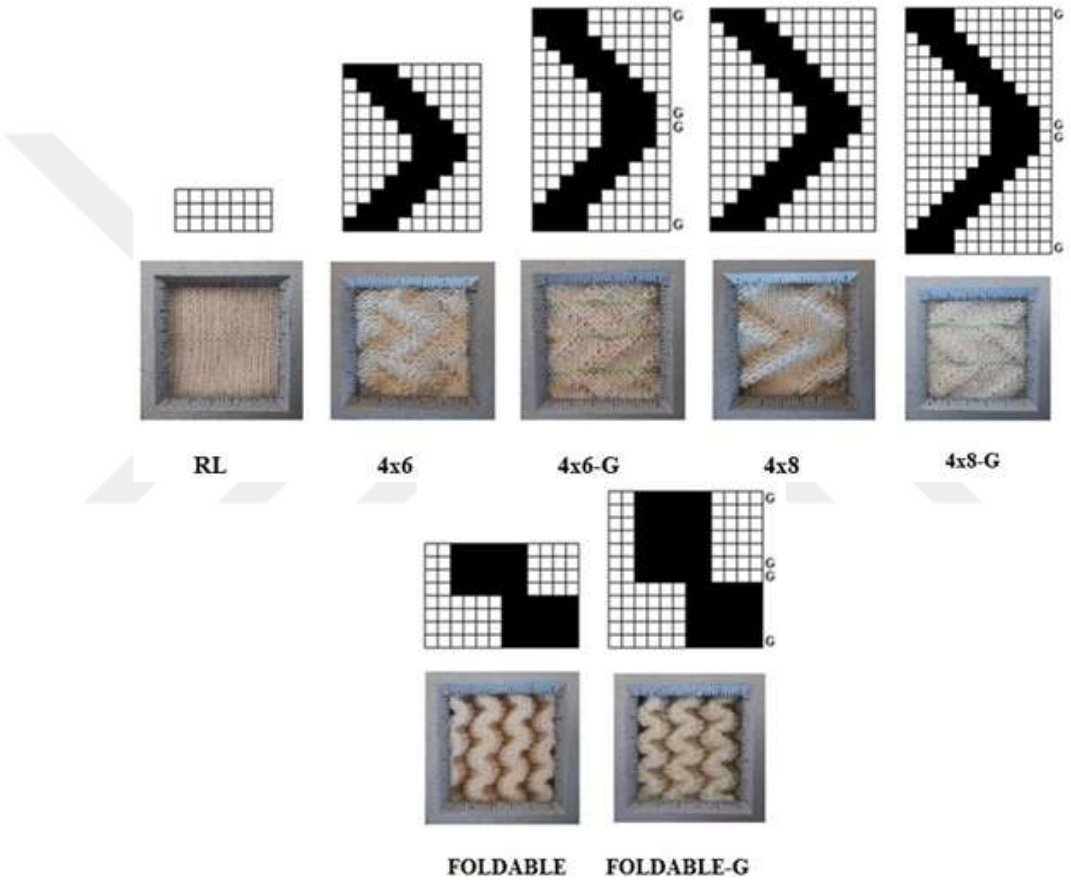
3.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında beş farklı numune grubu üretildiğinden, her bölümde kullanılan materyal ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1.1. PR ölçüm yöntemi etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler

Zigzag yapıda 4x6 ve 4x8 olmak üzere iki farklı örgü yapısında auxetic kumaş numunesi üretilmiştir. Konvansiyonel yapıdaki örgülerle kıyaslanabilmesi amacıyla bir de RL düz örgü numune üretilmiştir. Numunelerin büzülerek üç boyutlu kumaş

yapısının oluşturulabilmesi için belirli aralıklarla gipe ipliğinin beslendiği gipeli numuneler de örülmüştür. Numuneler Uludağ Triko San. ve Tic. A.Ş.'de işletme ortamında Stoll CMS 530 HP E6.2 Multigauge düz örme makinesinde %60 pamuk + % 40 akrilik, Ne 20/1 numara ipliklerden dört kat kullanılarak üretilmiştir. Gipe ipliği olarak; tekstüre naylon iplikle elastanlı ipliğin bükülmesiyle oluşturulmuş 240 dtex iplik kullanılmıştır. Numunelerin örgü raporlarının teknik çizimleri ve kumaş fotoğrafları Şekil 3.1.'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Numunelerin teknik çizimleri ve kumaş fotoğrafları *(Birim hücrede yer alan beyaz kare "□" düz ilmeği, siyah kare "■" ters ilmeği göstermektedir. "G" gipe ipliği kullanımını göstermektedir.)*

İşletme şartlarında her numuneden 1x2 metre ölçülerinde paneller üretilmiştir. Üretilen kumaşlara standart atmosfer koşullarında kuru relakse işlemi yapılmıştır (International Organization for Standardization, 2005). Üretilen numunelere ait özellikler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Test metodunun PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları

Numune Kodu	Sıra Sıklığı / cm	Çubuk Sıklığı / cm	Kalınlık (mm)	Gramaj (g/m^2)
Zigzag örgüler				
4x6	8,2	6,1	3,1	410,6
4x6 - G	8,6	6,4	2,8	392,2
4x8	8,2	6,3	3,1	403,9
4x8 - G	9.0	6,5	3,1	399,6
Katlanır örgüler				
Foldable	9,6	13,5	9,2	1203,7
Foldable - G	9,8	13,0	9,8	1173,6
Düz örgü				
RL	8,6	5,1	1,6	427,1

-G: Numunede gipe ipliği kullanıldığını göstermektedir.

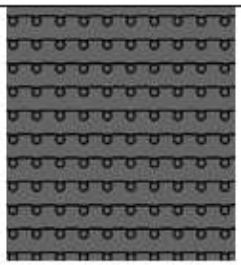
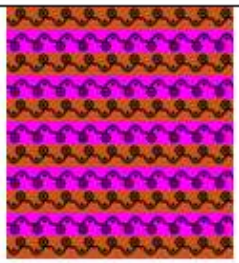
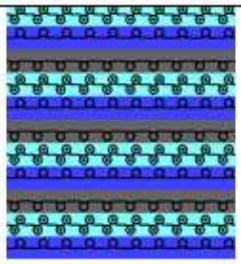
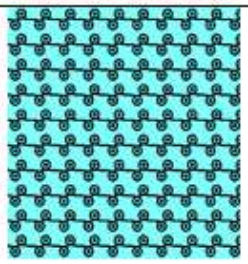
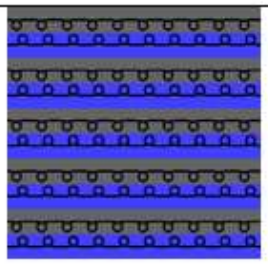
3.1.2. Örgü yapısının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler

Auxetic malzeme üretiminde; girintili (re-entrant), döner (rotating), kiral, fibril-nodül, katlanabilir yapılar kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında numune üretimi için desen seçiminde öncelikle tekstil literatüründeki örgü yapıları seçilmiştir. Diğer disiplinlerdeki auxetic yapılar incelenerek örgü raporları desen programında oluşturulmuştur. Toplamda 33 farklı örgü yapısında kumaş numunesi üretilerek örgü yapısının PR değerine etkisi incelenmiştir. Kumaşlar, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'ında bulunan, TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında temin edilen STOLL CMS502 HP+ model E7.2 incelikteki düz örme makinesinde örülmüştür. Üretilen numunelere ait teknik veriler Çizelge 3.2'de verilmiştir

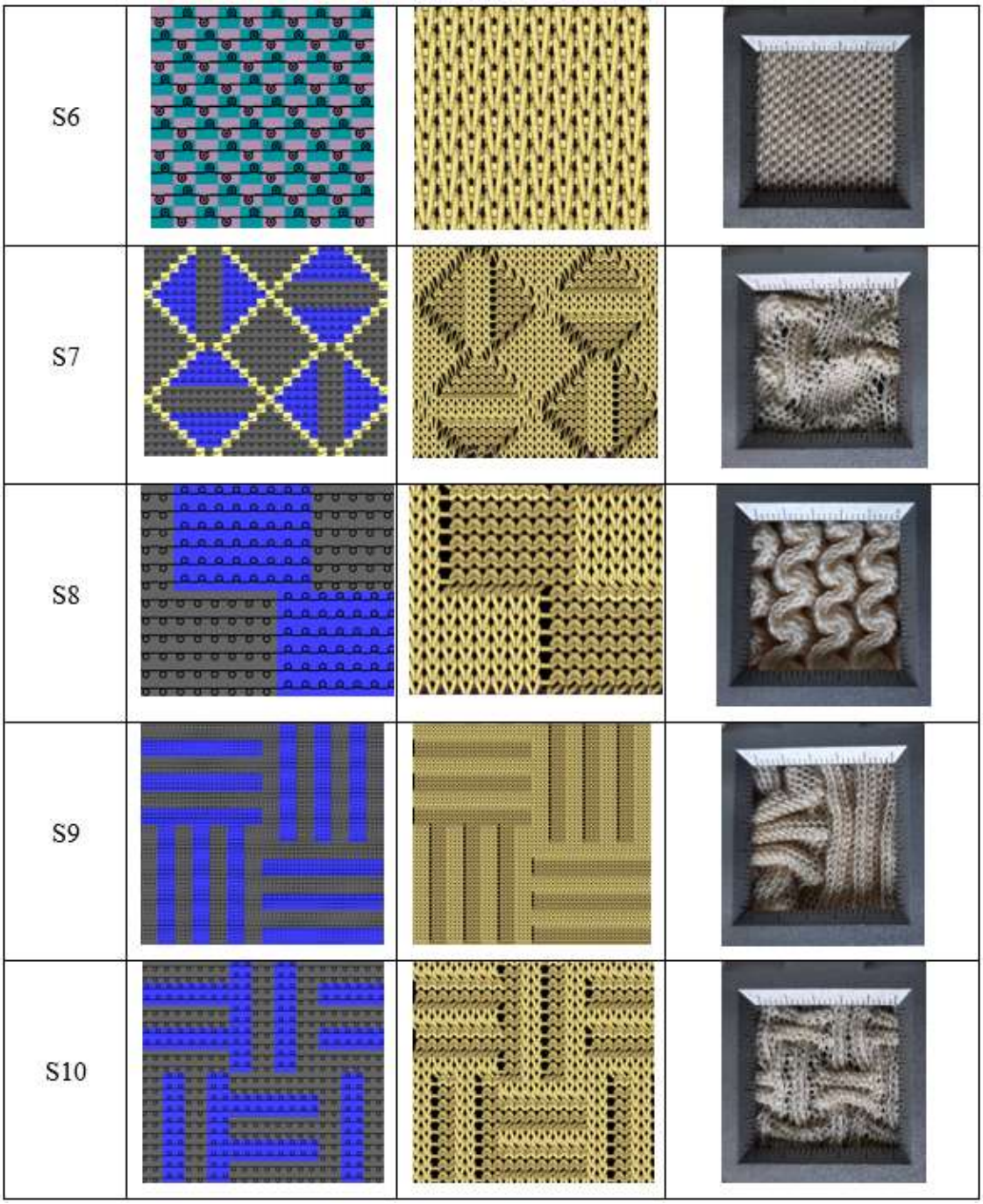
Çizelge 3.2. Örgü yapısının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları

Numune kodu	Sıra sıklığı / cm	Çubuk sıklığı / cm	İlmek iplik uzunluğu (mm)	Kalınlık (mm)	Gramaj (gr/m^2)
S1	7,5	7,9	6,5	2,0	261,5
S2	7,9	7,5	6,3	2,1	318,5
S3	5,1	5,5	6,3	2,1	267,6
S4	5,1	5,5	6,1	1,6	304,3
S5	5,1	7,3	6,5	1,7	299,0
S6	4,7	7,9	6,5	2,4	401,2
S7	7,5	6,7	6,7	2,7	321,2
S8	7,9	8,3	7,1	2,8	787,7
S9	6,5	7,5	6,4	3,6	474,0
S10	7,9	6,7	6,4	2,8	354,5
S11	8,3	14,2	6,4	4,3	562,4
S12	8,7	6,7	6,5	1,8	249,2
S13	7,9	7,5	6,3	2,0	298,3
S14	8,3	7,7	6,2	2,5	321,8
S15	7,5	7,9	7,1	2,0	329,5
S16	7,5	7,7	6,4	2,5	367,9
S17	5,5	7,1	6,2	2,0	315,6
S18	6,5	6,3	6,4	2,4	284,1
S19	8,3	7,7	7,1	2,4	258,3
S20	7,9	7,1	6,4	3,3	370,4
S21	6,7	7,5	6,3	2,4	320,1
S22	6,3	7,7	6,4	1,8	259,0
S23	7,9	8,1	6,4	2,0	281,8
S24	7,5	6,7	6,9	1,9	257,9
S25	8,3	7,1	6,5	2,3	294,3
S26	7,9	7,5	6,5	3,5	444,9
S27	5,5	4,9	6,1	1,9	292,7
S28	7,1	6,7	6,4	1,5	246,0
S29	13,4	7,9	6,5	4,4	604,4
S30	10,2	13,8	6,4	6,1	1084,8
S31	11,8	11,8	6,4	6,8	897,0
S32	7,9	17,7	6,3	5,2	842,2
S33	7,9	7,5	6,3	3,3	340,2

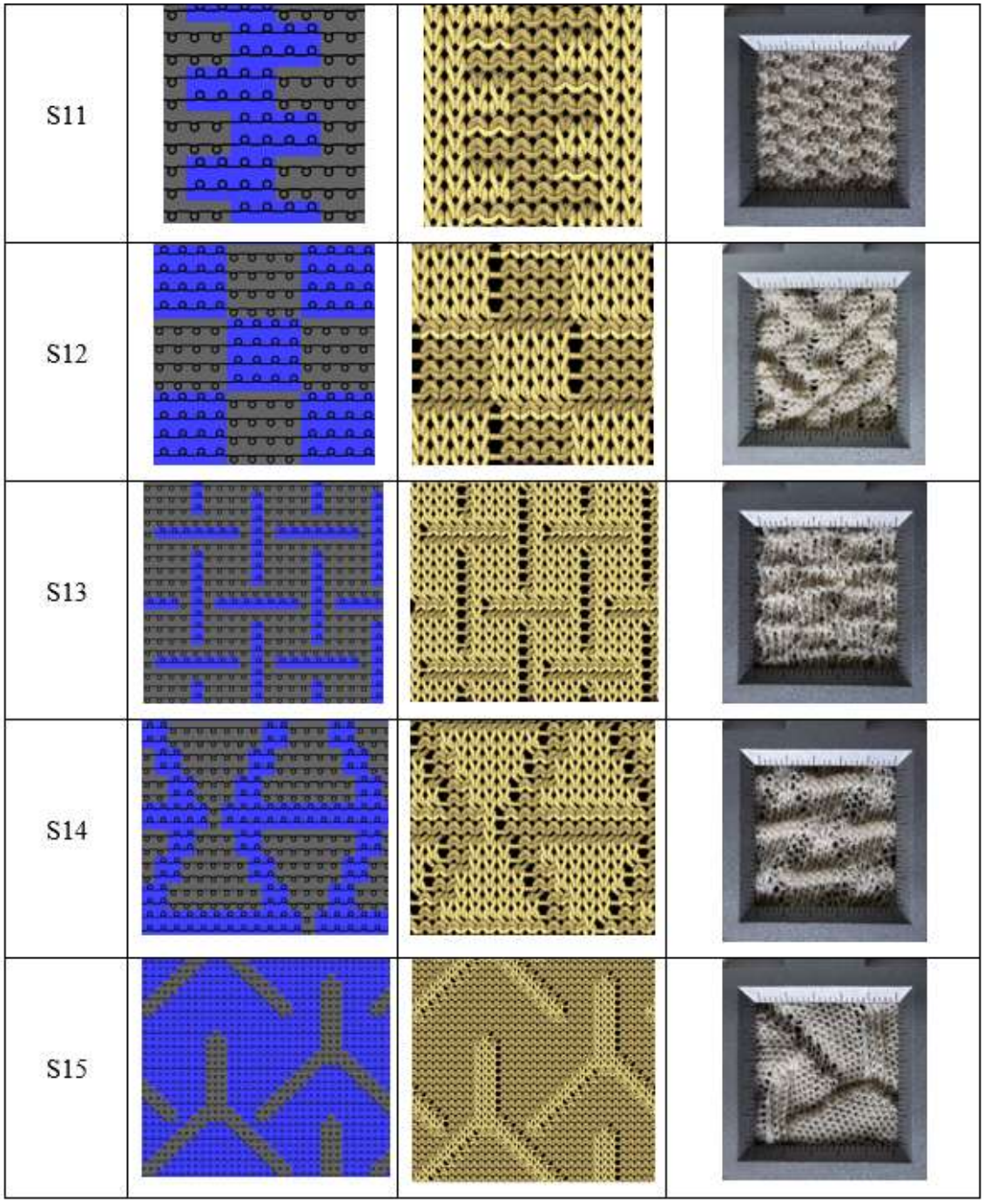
Ne 36/1 numaralı %100 pamuk ipliklerle dört katlı örülen numuneler düz zemin üzerinde yedi gün bekletilerek kuru relakse işlemi uygulandıktan sonra EN ISO 139 standardında yer alan atmosfer koşullarında (20 ^{0}C, %65 bağıl nem) en az üç gün bekletilerek kondisyonlanmıştır. Üretilen numunelerin örgü raporları, açık ilmek görünümleri ve kumaş fotoğrafları Şekil 3.2'de yer almaktadır.

Numune	İğne diyagramı	Açık ilmek görünüşü	Kumaş görünüşü
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

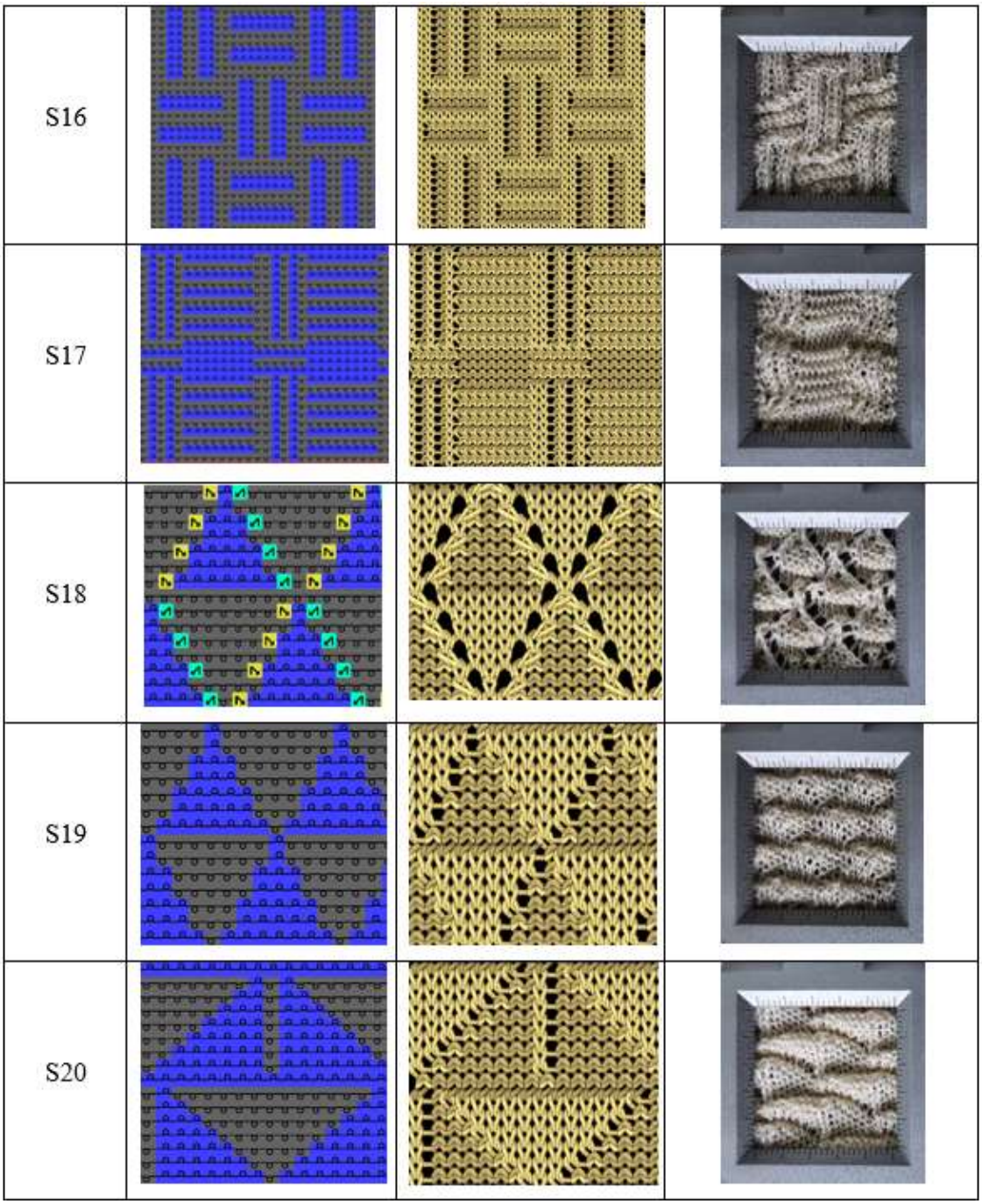
Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri



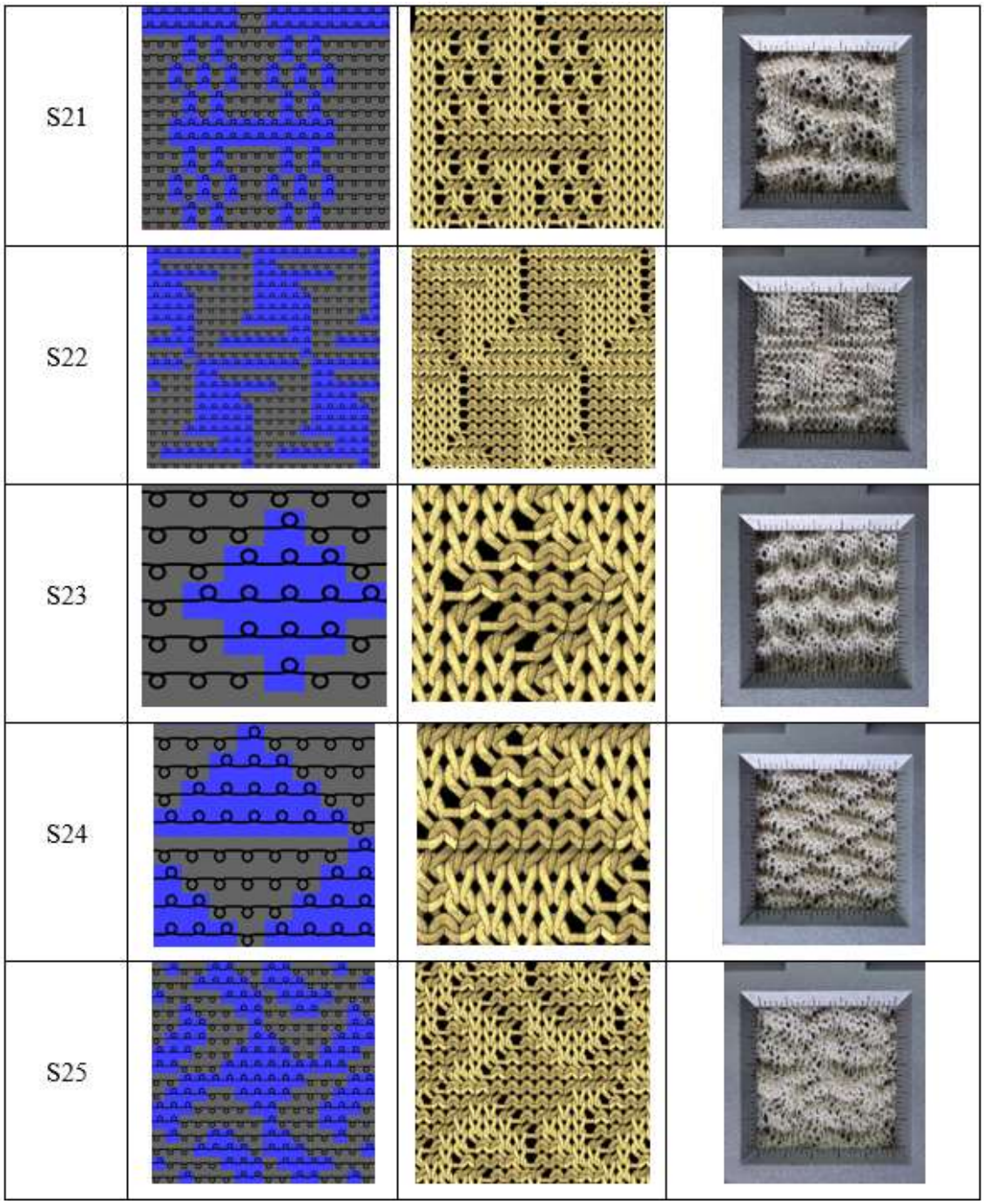
Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)



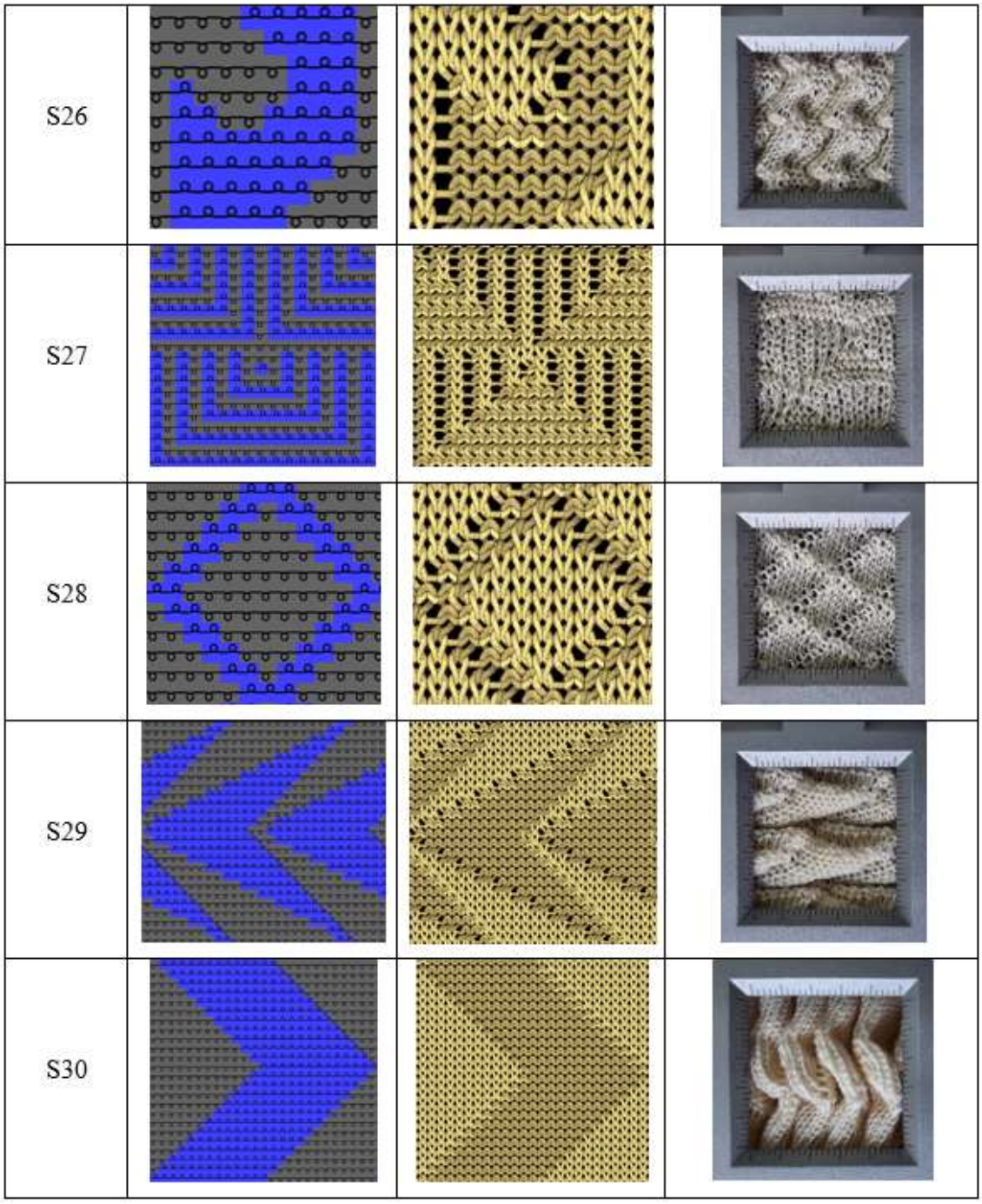
Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)



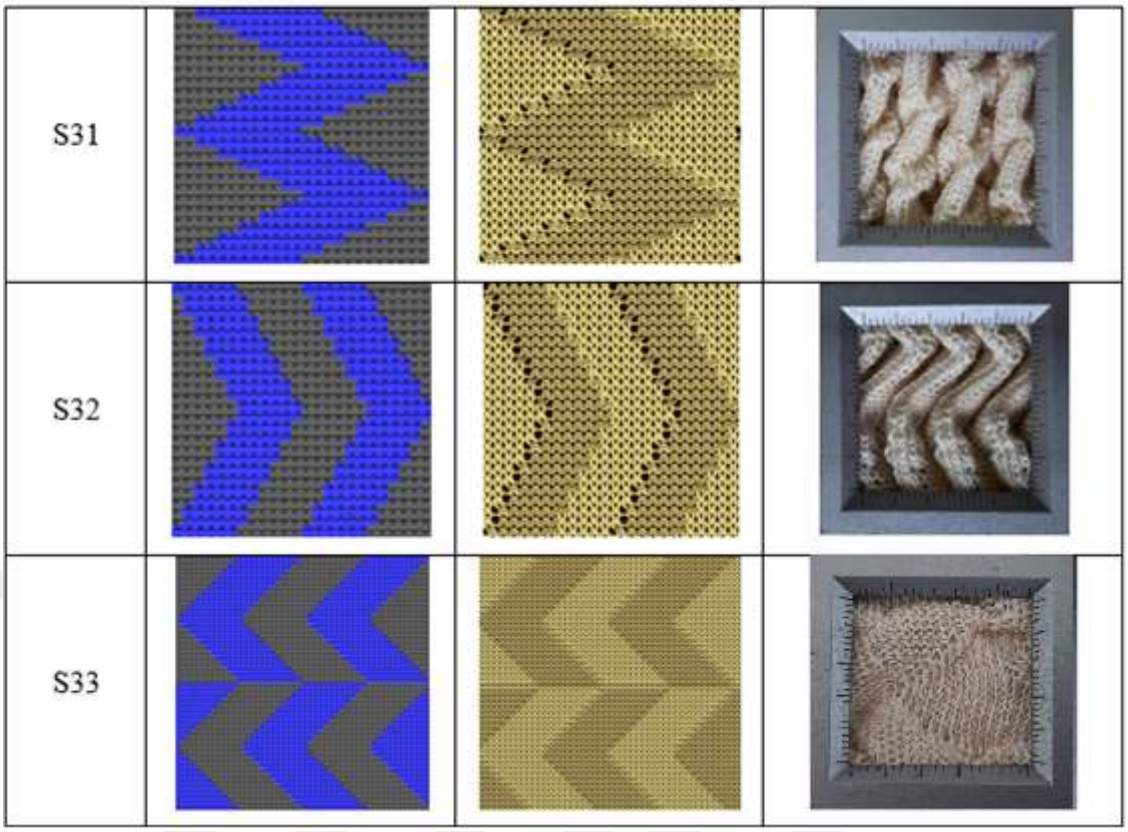
Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)



Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)



Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)



Şekil 3.2. Numunelerin teknik çizimleri ve açık ilmek görünüşleri (devam)

3.1.3. Üretim parametrelerinin PR etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler

Tez çalışmasının bu aşamasında iplik numarası, iplik kat sayısı ve relaksasyon yöntemi gibi kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisi incelenmiştir. Kumaş örgü yapısının PR değerine etkisinin incelendiği ikinci bölümde elde edilen sonuçlar ışığında, dört farklı örgü yapısında (Şekil 3.2'de S7, S9, S12 ve S29 kodlu örgüler) kumaş üretilmiştir. Ne 28/1 ve Ne 36/1 olmak üzere iki farklı numarada %100 pamuk ipliklerden 3 kat ve 4 kat olmak üzere iki farklı kat sayısında iplik beslenerek numuneler üretilmiştir. Üretilen kumaşlara kuru relakse, buharlı relakse ve yıkamalı relakse olmak üzere üç farklı yöntemle relaksasyon yapılmıştır. Kumaşların Poisson oranı değerleri ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan numunelere ait teknik özellikler Çizelge 3.3'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Üretim parametrelerinin PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları

Numune kodu				Sıra sıklığı / cm	Çubuk sıklığı / cm	İlmek iplik uzunluğu (mm)	Kalınlık (mm)	Gramaj (gr/m^2)
S7	28/1	3 kat	kuru	7,5	7,1	6,6	2,1	268,8
	28/1	4 kat	kuru	8,7	6,9	6,4	3,1	376,2
	36/1	3 kat	kuru	7,1	7,5	6,6	2,0	213,9
	36/1	4 kat	kuru	7,5	6,7	6,7	2,7	321,2
	28/1	3 kat	buhar	7,5	7,1	6,6	2,6	331,8
	28/1	4 kat	buhar	9,4	7,3	6,4	2,9	400,0
	36/1	3 kat	buhar	7,5	8,7	6,6	2,3	271,8
	36/1	4 kat	buhar	9,1	7,9	6,7	2,8	352,1
	28/1	3 kat	yıkama	9,8	7,1	6,6	2,6	347,3
	28/1	4 kat	yıkama	10,2	7,1	6,4	2,9	416,5
	36/1	3 kat	yıkama	9,1	7,5	6,6	2,2	251,1
	36/1	4 kat	yıkama	9,1	6,7	6,7	2,8	382,7
S9	28/1	3 kat	kuru	6,3	8,7	6,4	3,4	484,7
	28/1	4 kat	kuru	7,1	8,3	6,5	4,1	603,8
	36/1	3 kat	kuru	6,3	9,1	6,5	3,4	432,3
	36/1	4 kat	kuru	6,5	7,5	6,4	3,5	474,0
	28/1	3 kat	buhar	7,5	12,2	6,4	3,6	476,9
	28/1	4 kat	buhar	7,9	11,0	6,5	4,0	580,0
	36/1	3 kat	buhar	8,3	11,4	6,5	3,1	354,5
	36/1	4 kat	buhar	8,3	11,4	6,4	3,6	464,5
	28/1	3 kat	yıkama	8,9	8,3	6,4	2,9	362,7
	28/1	4 kat	yıkama	9,1	7,9	6,5	3,6	532,7
	36/1	3 kat	yıkama	7,9	9,1	6,5	2,6	298,2
	36/1	4 kat	yıkama	9,1	6,7	6,4	3,1	385,6
S12	28/1	3 kat	kuru	8,7	6,7	6,5	2,2	255,8
	28/1	4 kat	kuru	8,3	6,3	6,5	2,6	321,7
	36/1	3 kat	kuru	7,5	7,1	6,6	1,9	208,9
	36/1	4 kat	kuru	8,3	6,7	6,5	1,8	249,2
	28/1	3 kat	buhar	8,7	7,1	6,5	1,8	256,7
	28/1	4 kat	buhar	9,1	7,1	6,5	2,8	379,1
	36/1	3 kat	buhar	8,3	7,9	6,6	1,7	215,1
	36/1	4 kat	buhar	8,7	7,9	6,5	2,2	287,3
	28/1	3 kat	yıkama	11,0	7,1	6,5	2,5	328,9
	28/1	4 kat	yıkama	11,0	6,7	6,5	2,7	320,9
	36/1	3 kat	yıkama	10,6	6,7	6,6	2,4	311,6
	36/1	4 kat	yıkama	11,0	6,5	6,5	2,7	307,3
S29	28/1	3 kat	kuru	9,8	8,3	6,6	5,2	758,4
	28/1	4 kat	kuru	11,0	7,5	6,9	5,4	936,1
	36/1	3 kat	kuru	11,4	7,9	6,3	4,6	730,7
	36/1	4 kat	kuru	13,4	7,9	6,5	4,4	604,4
	28/1	3 kat	buhar	13,0	7,5	6,6	3,5	529,2
	28/1	4 kat	buhar	11,8	6,7	6,9	4,3	679,1
	36/1	3 kat	buhar	10,6	9,8	6,3	2,5	548,8
	36/1	4 kat	buhar	11,4	8,3	6,5	3,4	436,8
	28/1	3 kat	yıkama	9,4	7,5	6,6	4,4	576,7
	28/1	4 kat	yıkama	10,2	6,7	6,9	4,6	764,8
	36/1	3 kat	yıkama	10,2	8,7	6,3	4,2	613,9
	36/1	4 kat	yıkama	10,2	8,3	6,5	4,3	633,9

3.1.4. Elastanlı iplik kullanımının PR etkisinin incelenmesi için üretilen numuneler

Auxetic kumaş üretiminde çoğunlukla; foldable (katlanır) ve re-entrant örgüler kullanılmaktadır. Bu örgü yapıları sayesinde kumaş toparlanarak üç boyut etkisi arttırılmakta, bu sayede kuvvet altında enine yönlü daralma engellenebilmektedir.

Kumaş üretiminde elastik yapıda iplik kullanılarak numunenin toparlanması ve 3 boyut etkisinin arttırılması mümkündür. Çalışmanın bu aşamasında, bazı örgülerde (Şekil 3.2.'de S1, S5, S12, S30 kodlu örgüler) belirli oranlarda elastanlı iplik kullanılarak numuneler üretilmiştir. Ardından PR değeri ölçülerek elastanlı iplik oranının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla,

- ✓ %100 polyester (167 dtex) (4 kat),
- ✓ polyester (167 dtex) (2 kat) + elastanlı polyester (167 dtex + 44 denye elastan) (2 kat)
- ✓ %100 elastanlı polyester (167 dtex + 44 denye elastan) (4 kat)

iplikler kullanılarak numune üretilmiştir. Çalışmada kullanılan numunelere ait özellikler Çizelge 3.4'de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Elastanlı iplik kullanımının PR değerine etkisinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları

Numune kodu		Sıra sıklığı / cm	Çubuk sıklığı / cm	İlmek iplik uzunluğu (mm)	Kalınlık (mm)	Gramaj (gr/m^2)
S1	%100 polyester (4 kat)	8,3	7,7	5,50	4,6	297,0
	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	16,9	8,1	6,45	4,2	432,7
	%100 elastanlı pes (4 kat)	18,9	8,7	6,10	4,3	503,5
S5	%100 polyester (4 kat)	23,6	6,3	6,25	2,0	345,3
	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	24,4	7,5	5,85	2,1	413,1
	%100 elastanlı pes (4 kat)	25,2	7,7	6,50	2,2	441,8
S12	%100 polyester (4 kat)	10,6	7,1	6,25	2,9	417,2
	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	11,0	7,9	6,50	3,8	431,0
	%100 elastanlı pes (4 kat)	15,0	8,7	6,15	4,0	373,0
S30	%100 polyester (4 kat)	9,2	27,6	6,45	10,5	1750,4
	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	9,4	34,3	6,35	14,0	2563,3
	%100 elastanlı pes (4 kat)	10,2	36,2	6,90	14,7	2264,5

3.1.5. Performans özelliklerinin ölçümü için üretilen numuneler

Çalışmanın bu bölümünde; Poisson oranı değeri ile kumaş performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmiştir. Bu amaçla daha önceki çalışmalarda PR özellikleri incelenmiş olan dört farklı örgü yapısında (Şekil 3.2'de S1, S16, S33, S30 kodlu örgüler) numune üretilmiştir. Numuneler %100 boyalı pamuk (Ne 36/1 iplik, 4 kat) ve %100 dry-fit polyester (167 dtex, 4 kat) olmak üzere iki farklı hammadde ile üretilmiştir. Böylece sekiz ayrı numune oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan numunelere ait özellikler Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. PR oranı değer ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi için üretilen kumaş yapıları

	Numune kodu	Sıra sıklığı / cm	Çubuk sıklığı / cm	İlmek iplik uzunluğu (mm)	Kalınlık (mm)	Gramaj (gr/m^2)
S1	%100 boyalı pamuk	7,1	6,9	4,5	3,5	221,5
	%100 dry-fit polyester	8,1	7,1	4,1	4,3	252,1
S16	%100 boyalı pamuk	7,1	10,6	6,5	2,5	352,3
	%100 dry-fit polyester	9,1	9,4	6,4	3,0	434,8
S30	%100 boyalı pamuk	10,2	27,6	6,5	7,6	1473,4
	%100 dry-fit polyester	8,3	19,7	6,4	8,1	1318,9
S33	%100 boyalı pamuk	7,5	7,9	6,7	3,3	312,7
	%100 dry-fit polyester	12,6	7,5	6,0	4,3	525,2

3.2. Yöntem

Numunelerin Poisson oranı ölçümü, konfor özelliklerinin ölçümü Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan ölçüm ve testler, numunelerin standart atmosfer şartlarında (20 ± 2^0C sıcaklık ve %65±4 bağıl nem) en az 24 saat bekletilerek kondisyonlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Kumaşlara uygulanan relakse işlemleri

Üretilen kumaş numuneleri düz ve pürüzsüz bir zemin üzerinde, hiç bir kuvvet uygulanmadan serbest halde serilerek bir hafta bekletilerek kuru relakse edilmiştir.

Buharlı relakse işlemi, işletme ortamında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3.a). Numunelere, Mentasti marka buharlı paskarada 4 bar basınçlı su buharı uygulanmıştır. Yıkamalı relakse işleminde; Tolkar TWC 700 marka yıkama makinesinde (Şekil 3.3.b) 20^0C'de silikon ve yumuşatıcı ilave edilerek yıkandıktan sonra tamburlu kurutucuda 60^0C'de, 30 dakika, narin çamaşır programında kurutulmuştur. Sonrasında buhar uygulanarak relakse işlemi tamamlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 3.3. Numunelerin **a)** buharlı paskarada relakse edilmesi, **b)** yıkama makinesi

3.2.2. Kumaşların sıra ve çubuk sıklıklarının belirlenmesi

Kumaşların sıra ve çubuk sıklığı değerlerinin belirlenmesi ISO 7211-2 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numuneler düz bir yüzey üzerine yerleştirilerek 5 cm uzunluğuna işaretlenmiştir. Lup yardımıyla işaretlenen bölgedeki sıra ve çubuklar sayılmıştır. Elde edilen sonuçlar birim uzunluktaki sıklık sayısına çevrilmiştir. Ölçümler numunelerin 5 ayrı yerinden tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır (International Organization for Standardization, 2017).

3.2.3. Kumaşların metrekare ağırlığının belirlenmesi

Kumaşların metrekare ağırlığının belirlenmesi ISO 12127 standardına uygun olarak yapılmıştır. Kumaşların farklı bölgelerinden 100 cm^2 alanlı beşer adet numune kesilmiştir. Kesilen deney numuneleri 0,001 hassasiyete sahip Adam marka elektronik tartı yardımıyla tartılmıştır (Europeane Norm, 2020).

3.2.4. Kumaşların kalınlığının belirlenmesi

Kumaş kalınlığı kumaşın en yüksek ve en düşük yüzeyleri arasındaki mesafenin belirli bir basınç altında ölçülmesiyle tespit edilmiştir. ISO 5084 standardına uygun olarak 5 farklı yerden ölçüm yapılmıştır. Kumaş kalınlığının ölçümünde James H. Heal marka

kumaş kalınlığı ölçüm aleti kullanılmıştır. Cihazın test alanı 1 cm^2, hassasiyeti ise 0,01 mm'dir. Kumaşın yüzey kalınlığını belirlenmesinde 5 gf/cm^2 basınç değeri kullanılmıştır (International Organization for Standardization, 2019).

3.2.5. Kumaşların ilmek iplik uzunluğu değerlerinin belirlenmesi

İlmek iplik uzunluğunun belirlenmesi için her bir kumaş numunesi üzerinde 100 çubuk işaretlenmiştir. İşaretlenen bölgeden 10 sıra sökülmüş ve her bir sıranın 10 gr ağırlık altındaki uzunluğu ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Ortalama değer toplam ilmek sayısına bölünerek ilmek iplik uzunluğu değeri hesaplanmıştır.

3.2.6. Poisson oranı (PR) değeri ölçümü

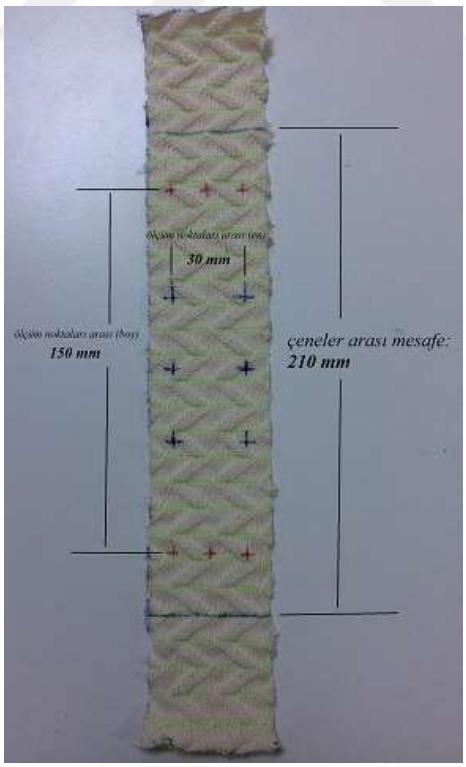
Poisson oranı ölçümleri; üniversal mukavemet test cihazı ve sabit yük altında uzama ölçer (ekstensometre) olmak üzere iki farklı cihazla yapılmıştır. Görüntü analizlerinin hassas yapılabilmesi için deney esnasında kumaşta meydana gelen değişimler 4K, 3840x2160 piksel çözünürlükte kamera ile kaydedilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar kıyaslanarak deney metotları arasındaki ilişki ve metot validasyonu incelenmiştir.

Üniversal mukavemet cihazıyla (UTT) yapılan Poisson oranı ölçümleri; ASTM E132 "Oda sıcaklığınsa Poisson oranı ölçümü" deney standardına göre Shimadzu AG-X HS cihazında (Şekil 3.4.a) yapılmıştır. İşaretlemeler standardın açıkladığı şekilde yapılarak numuneler hazırlanmıştır. Kullanım esnasında daha çok boy yönlü kuvvet etki ettiğinden numunelerin sadece boy yönlü PR değerleri ölçülmüştür.



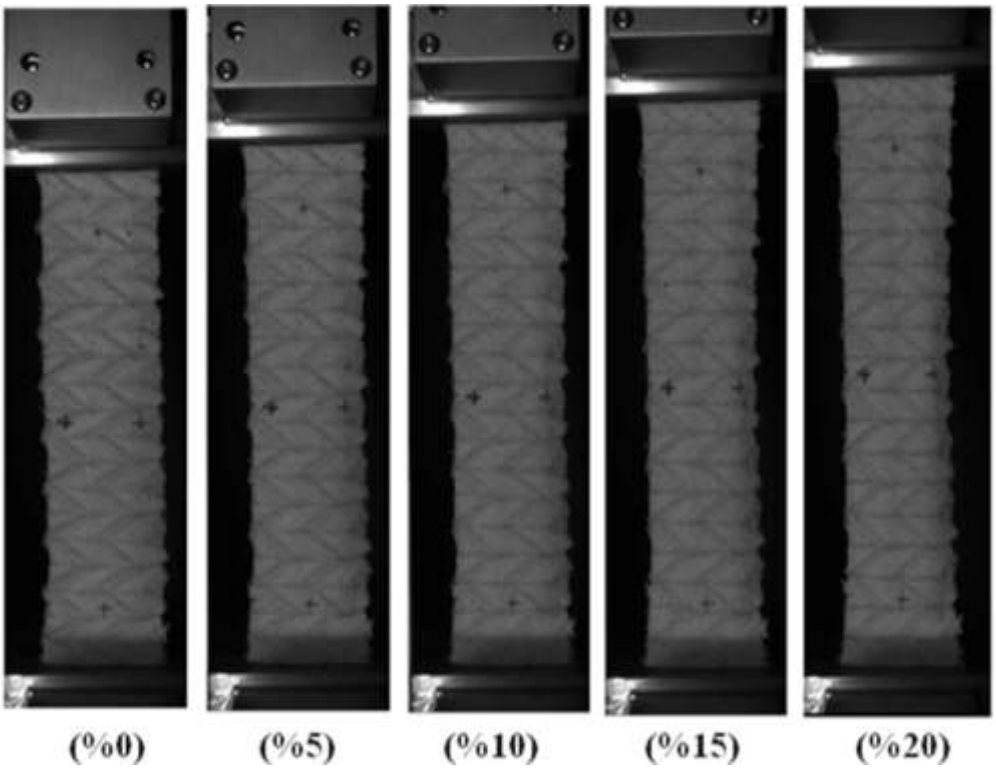
Şekil 3.4. Numunelerin **a)** UTT cihazına, **b)** Fryma ekstensometresine yerleştirilmesi

ASTM E132 deney standardına göre numune üzerinde yapılan işaretlemeler; boy yönlü ölçüm mesafesi, en yönlü mesafenin minimum 5 katı, numune uzunluğu ise en yönlü ölçüm değerinin minimum 7 katı uzunluğunda olmalıdır. 50 mm eninde kesilen numunelere; Şekil 3.5'deki gibi en yönünde 30 mm, boy yönünde 150 mm mesafeden işaretleme yapılmıştır. Çene mesafesi 210 mm'dir.



Şekil 3.5. Numune üzerindeki işaretlemeler

ASTM E132 deney standardında çalışma hızının düşük olması tavsiye edilmekte ancak net bir değer belirtilmemektedir. Sloan (2011), düşük çalışma hızını dakikada çene mesafesinin 1/10 oranında olarak tanımlamıştır (Sloan ve diğerleri, 2011). Buradan yola çıkarak, numunelere 20 mm/dk hızla kuvvet uygulanmıştır. Test esnasında kaydedilen görüntüler VirtualDub isimli program kullanılarak "frame"lere ayrılmıştır. Numunelerin belirli uzama değerlerindeki (%0, %5, %10, %15, %20) fotoğrafları ImageJ görüntü işleme programına aktarılarak en ve boy yönlü değişimler ölçülmüş ve Poisson oranı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.6).

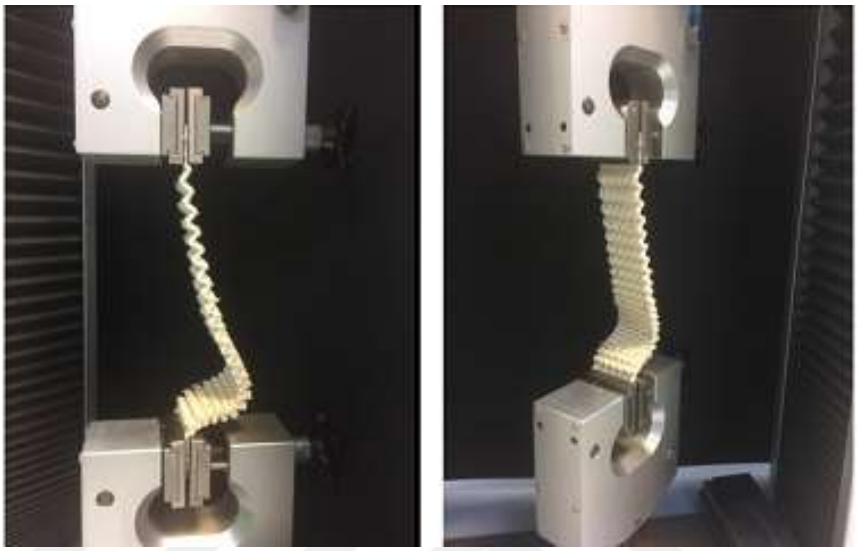


Şekil 3.6. Numunelerin belirli uzama oranlarındaki fotoğrafları

Test esnasında cihaz kamerasıyla kaydedilen görüntüler ImageJ görüntü işleme programına aktarılarak belirli % uzama değerlerindeki en ve boy yönlü değişimler ölçülmüştür. Daha sonra PR değerleri hesaplanmıştır.

Üç boyutlu yapıya sahip pliseli, katlı örme kumaşların Poisson oranı ölçümünde dikey olarak çenelere serbest olarak yerleştirilmesi esnasında kumaşta aşağıya doğru Şekil 3.7'deki gibi kıvrılmalar meydana gelmektedir. Kumaş üzerinde yapılan işaretlemeler

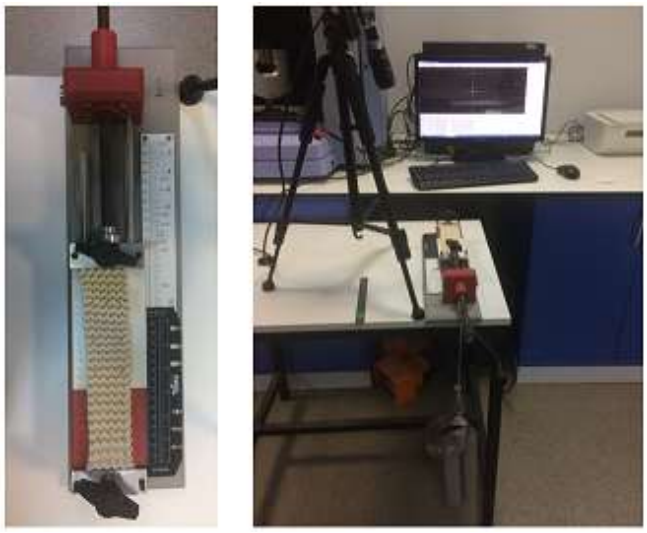
gerçek durumu yansıtmadığından PR ölçümü yapılamamaktadır. Bu durumu önlemek ve piyasada yaygın olarak bulunabilen bir cihazla Poisson oranı işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla sabit yük altında uzama oranı ölçme cihazıyla PR ölçümü deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. 3 boyutlu kumaşların dikey olarak çenelere yerleştirilmesinde meydana gelen kıvrılma nedeniyle Poisson oranının ölçülememesi

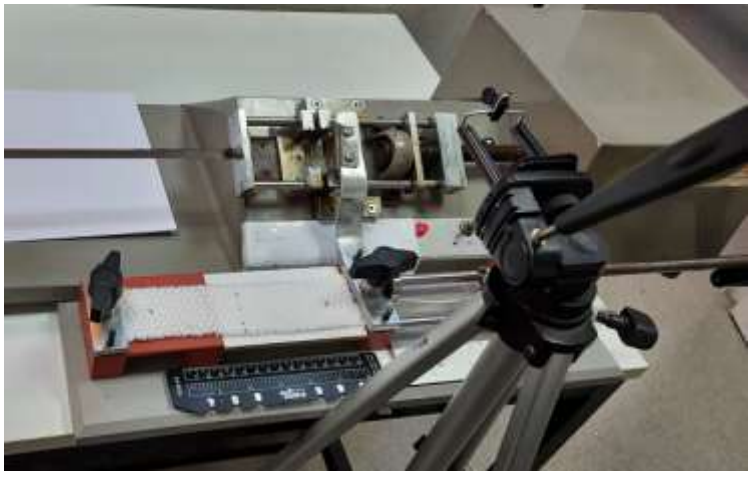
Bu amaçla SDL ATLAS M031 Fryma Fabric Ekstensometre test cihazı kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla, ASTM E132 deney standardında tanımlandığı gibi işaretlemeler gerçekleştirilmiştir. 210 mm çene mesafesine yerleştirilen numunelere (Şekil 3.8) 20 mm/dk hız ile kuvvet uygulanarak aynı parametreler oluşturulmuştur. Elde edilen görüntüler ImageJ görüntü işleme programına aktarılmıştır. En ve boy yönlü değişimler ölçülerek Poisson oranı hesaplanmıştır.

Katlanabilir-foldable yapıdaki bazı kumaşların dikey olarak Poisson oranı ölçümündeki sorunlar nedeniyle çalışmanın 2. aşamasında ve sonraki aşamalarındaki PR ölçümleri yatay olarak kuvvet uygulanabilen ekstensometre ile yapılmıştır.



Şekil 3.8. Numunelerin Fryma ekstensometreye yerleştirilmesi ve oluşturulan deney düzeneği

Numunelere uygulanan kuvvetin miktarı, sürekliliği numune davranışı üzerinde etkilidir. Bu nedenle UTT cihazlarında olduğu gibi ekstensometre cihazlarında da numunelere uygulanan kuvvetin sürekliliği ve hızı önemlidir. Mevcut ekstensometre test cihazında kuvvet, bir kolun elle çevrilmesi sonucu oluşturulmaktadır. Her ne kadar ölçüm esnasında sabit hızla kuvvet uygulanmaya çalışılsa da deney metodu validasyonunun sağlanması ve insan faktörünün azaltılması amacıyla deney düzeneği geliştirilmiştir. Sabit hızda kuvvet uygulayabilen başka bir cihazdan ekstensometreye kuvvet iletimi sağlanarak sabit hızda ve sürekli olarak kuvvet iletimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Numunelerin sabit hızla çekilerek kuvvet uygulanması için geliştirilen deney düzeneği

Deney öncesinde numuneler 7 gün relakse edildikten sonra en az 3 gün süreyle EN ISO 139 deney standardına uygun ortamda kondüsyonlanmıştır. Numuneler ASTM E-132 deney standardında belirtildiği gibi hazırlanarak çeneler arasına yerleştirilmiştir. Sabit hızda uzama sağlanarak numunelere uzatılmış ve görüntüler yüksek çözünürlükle kaydedilmiştir. Ardından %5, %10, %15 ve %20 gibi uzama değerlerindeki görüntüler ImageJ görüntü işleme programında analiz edilerek noktalar arasındaki mesafeler ölçülmüştür. Sonrasında PR değerleri hesaplanmıştır. Her numune için beş adet ölçüm yapılarak sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

3.2.7. Hava geçirgenliği ölçümü

Hava geçirgenliği ölçümleri EN ISO 9237 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ölçümler, SDL Atlas M021A Hava Geçirgenliği Test Cihazı ile 100 Pa basınç değeri ve 5 cm^2'lik test başlığı kullanılarak $lt/m^2.s$ cinsinden yapılmıştır (International Organization for Standardization, 1995). Numuneler, gerdirme tertibatıyla (Şekil 3.10) belirli oranlarda uzatılarak (%5, %10, %15, %20) daha önceden PR değerlerinin ölçüldüğü uzama oranı değerlerindeki hava geçirgenliği ölçülmüştür. Kumaşların beş farklı yerinden ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır.

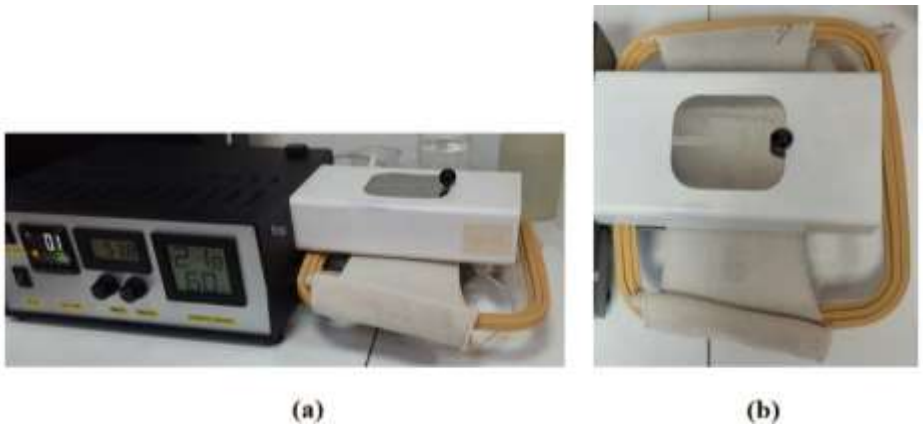
Numunelerin belirli uzama değerlerinde (kuvvet altında) hava geçirgenliği değerlerini ölçmek için numuneler bir kasnağın üzerinde sabitlenmiştir (Şekil 3.10.a). Orijinal halde ve %5, %10, %15, %20 gibi belirli uzama oranlarında ölçüm yapabilmek için numuneler boy yönünde uzatılarak kuvvet uygulanmıştır ve bu pozisyonlarda sabitlenmiştir. Daha sonra yukarı belirtilen deney parametrelerinde gerdirilmiş kumaş cihaza yerleştirilerek (Şekil 3.10.b) hava geçirgenliği değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.10. a) Numunelerin kumaş gerdirme tertibatına sabitlenmesi, **b)** belirli uzama değerlerinde hava geçirgenliği ölçümü

3.2.8. Su buharı geçirgenliği ölçümü

Su buharı geçirgenliği ölçümleri EN ISO 11092 standardına göre, Permetest Test Cihazı ile yapılmıştır. Numuneler, gerdirme tertibatıyla belirli oranlarda uzatılarak (%5, %10, %15, %20) daha önceden PR değerlerinin ölçüldüğü uzama oranı değerlerindeki su buharı geçirgenliği değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.11). Ölçümler esnasında numunelerin arka yüzeyinde 1 m/sn hızında hava akımı oluşturulmuştur. Kumaşların beş farklı yerinden ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır (International Organization for Standardization, 2014).



Şekil 3.11. Permetest cihazında kumaş gerdirme tertibatıyla su buharı geçirgenliği ölçümü

3.2.9. Termal iletkenlik ölçümü

Termal iletkenlik (λ), yapıların ısı akış yeteneğini tanımlar ve bir saniyede 1 mm kalınlığındaki kumaşın ısı iletimini ve sıcaklık değişimini ifade eder. Termal iletkenlik ölçümleri EN ISO 11092 standardına göre yapılmıştır. Ölçümler, Alambeta Test Cihazı ile yapılarak numunelerin ısı iletkenliği değerleri ölçülmüştür. Numuneler, gerdirme tertibatıyla belirli oranlarda uzatılarak (%5, %10, %15, %20) daha önceden PR değerlerinin ölçüldüğü uzama oranı değerlerindeki termal iletkenliği ölçülmüştür (Şekil 3.12). İki plaka arasındaki sıcaklık farkı 10 ^{0}C'ye ayarlanmıştır. Bu durumda alt plaka 22 ^{0}C, üst plaka 32 ^{0}C olarak numunelerin ısıl geçirgenlik değerleri ölçülmüştür. Kumaşların beş farklı yerinden ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır (International Organization for Standardization, 2014).

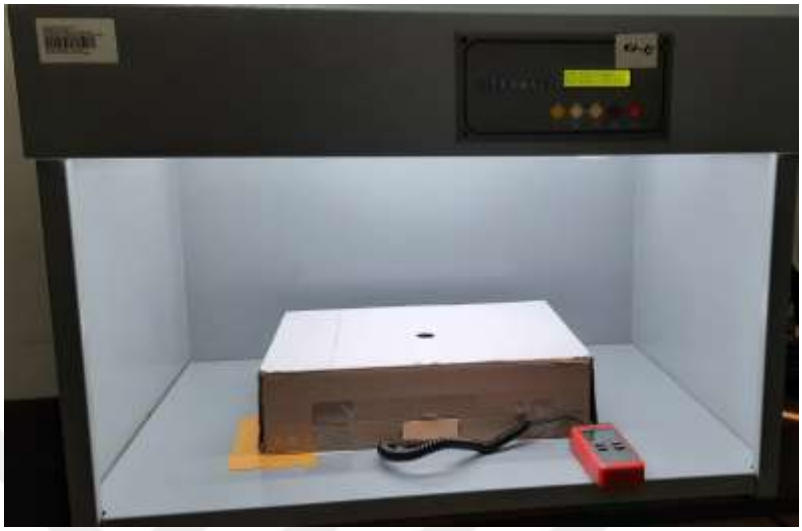


Şekil 3.12. Alambeta cihazında kumaş gerdirme tertibatıyla ısıl geçirgenliği ölçümü

3.2.10. Işık geçirgenliğinin ölçümü

Numunelerin belirli uzama oranındaki porozite değerlerini ölçmek için UNI-T marka UT383S model Luxmetre ışık ölçme cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan deney tertibatında kutunun orta noktasında 5 cm^2'lik delik açılmıştır. Luxmetrenin ışığı algılayan parçası deliğin tam altına sabitlenmiştir. Kutunun etrafı kapalı olduğundan sadece açılan delikten ışık girebilmektedir. Ölçümün standartlaşması amacıyla ışık geçirgenliği

ölçümleri D65 ışık kaynağı bulunan ışık kabininin içinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Işık geçirgenliği ölçümü için oluşturulan deney düzeneği

Numuneler öncelikli olarak serbest haldeyken (%0 pozisyonu) kutunun üzerine yerleştirilmiştir. Luxmetre üzerinden değer okunarak bu pozisyondaki ışık geçirgenliği değeri kaydedilmiştir. Ardından sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında gerdirme tertibatında uzatılarak kuvvet altında ışık geçirme kapasiteleri ölçülmüştür (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Kumaş gerdirme tertibatıyla, belirli uzama değerlerindeki ışık geçirgenliği ölçümü

3.2.11. Bulguların değerlendirilmesi

Çalışmanın farklı aşamalarında parametrelerin PR değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla iki ve üç faktörlü sınırlamasız varyans analizleri kullanılmıştır. Varyans analizlerinin hesaplanmasında SPSS 22 programından yararlanılmıştır.

İki faktörlü sınırlamasız varyans analizinde kurulan hipotezler ve uygulanan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$H01: \Sigma Aj = 0$ $HA1: \Sigma Aj \neq 0$

$H02: \Sigma Bk = 0$ $HA2: \Sigma Bk \neq 0$

$H03: \Sigma ABjk = 0$ $HA3: \Sigma ABjk \neq 0$

$Yijk = \mu + Aj + Bk + ABjk + \varepsilon(ijk)$

Yijk : Ölçüm Değeri;

μ : Yığının ortalama değeri;

Aj : Birinci faktörün j. seviyesindeki etkisi;

Bk : İkinci faktörün k. seviyesindeki etkisi;

ABjk : Birinci faktörün j. seviyesi ile ikinci faktörün k. seviyesinin kesişiminin etkisi;

$\varepsilon(ijk)$: Birinci faktörün j. seviyesi, ikinci faktörün k. seviyesindeki i. Gözlemdeki tesadüfi hata.

Üç faktörlü sınırlamasız varyans analizinde kurulan hipotezler ve uygulanan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$H01: \Sigma Aj = 0$ $HA1: \Sigma Aj \neq 0$

$H02: \Sigma Bk = 0$ $HA2: \Sigma Bk \neq 0$

$H03: \Sigma Cm = 0$ $HA3: \Sigma Cm \neq 0$

$H04: \Sigma ABjk = 0$ $HA4: \Sigma ABjk \neq 0$

$H05: \Sigma ACjm = 0$ $HA5: \Sigma ACjm \neq 0$

$H06: \Sigma BCkm = 0$ $HA6: \Sigma BCkm \neq 0$

$H07: \Sigma ABCjkm = 0$ $HA7: \Sigma ABCjkm \neq 0$

$Yijk = \mu + Aj + Bk + Cm + ABjk + ACjm + BCkm + ABCjkm + \varepsilon(ijkm)$

Yijk : Ölçüm Değeri;

μ : Yığının ortalama değeri;

Aj : Birinci faktörün j. seviyesindeki etkisi;

Bk : İkinci faktörün k. seviyesindeki etkisi;

Cm : Üçüncü faktörün m. seviyesindeki etkisi;

ABjk : Birinci faktörün j. seviyesi ile ikinci faktörün k. seviyesinin kesişiminin etkisi;

ACjm : Birinci faktörün j. seviyesi ile üçüncü faktörün m. seviyesinin kesişiminin etkisi;

BCkm : İkinci faktörün k. seviyesi ile üçüncü faktörün m. seviyesinin kesişiminin etkisi;

ABCjkm: Birinci faktörün j. seviyesi, ikinci faktörün k. seviyesi ile üçüncü faktörün m. seviyesinin kesişiminin etkisi;

ε(ijkm) : Birinci faktörün j. seviyesi, ikinci faktörün k. seviyesi, üçüncü faktörün m. seviyesindeki i. gözlemdeki tesadüfi hata.

Analiz sonuçları $\alpha=0,05$ anlamlılık derecesi için değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda $P<0,05$ olduğunda incelenen faktörün kumaş özelliklerine etkisi olmadığını, $P>0,05$ olduğunda incelenen faktörün test edilen özellik üzerine etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Etkisi bulunan faktörün, seviyeleri arasındaki farkı görmek için SNK (Student Newman Keuls) testine başvurulmuştur. Bu test sonunda elde edilen tabloda biri birinden istatistiksel açıdan farklı faktör seviyeleri aynı harfler ile aralarında fark olmayan seviyeler ise farklı harfler ile gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

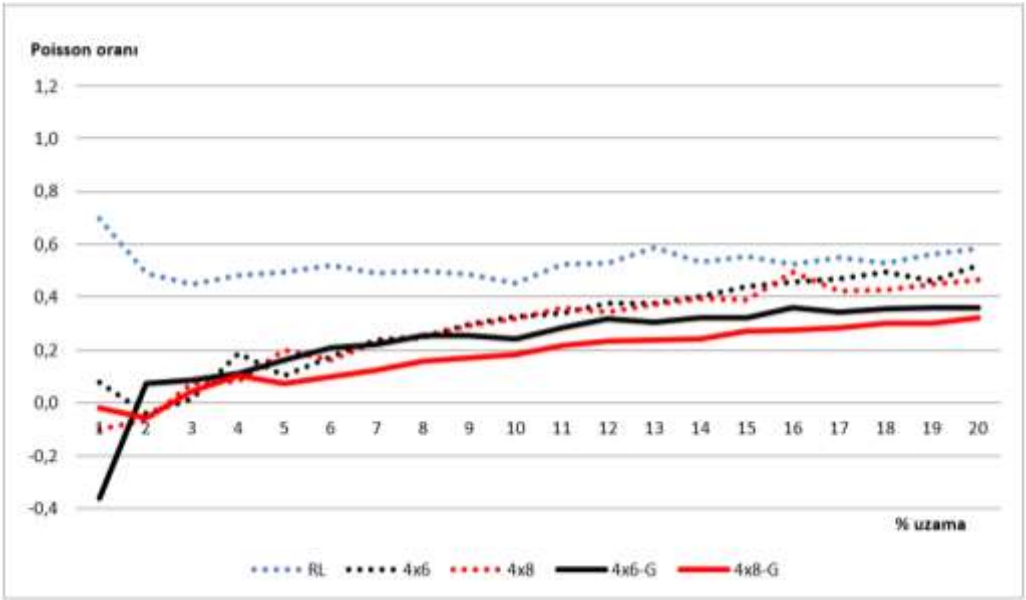
Tez çalışması kapsamında öncelikle farklı örgü yapılarında auxetic özellikte kumaşlar üretilerek Poisson oranları ölçülmüştür. Katlanır yapıdaki örme kumaşların PR ölçümünde karşılaşılan sorunlar nedeniyle yeni PR ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Sonraki aşamalarda; örgü yapısını, iplik numarası, iplik katsayısı ve kumaş relaksasyon yöntemi, elastanlı iplik kullanımı gibi farklı parametrelerin Poisson oranına etkisi incelenmiştir. Son bölümde ise nihai olarak üretilen numunelerin performans özellikleri ölçülerek ölçüm sonuçları PR değeriyle ilişkilendirilmiştir. Yapılan çalışmalar 5 ayrı başlık halinde sunulmuştur.

4.1. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Poisson oranı ölçümleri UTT cihazında geçekleştirilmiştir. Fakat bazı kumaşların dikey olarak yerleştirilmesinde yaşanan zorluklar nedeniyle PR ölçümleri yatay düzlemde kumaşların uzatılmasını sağlayan ekstensometre cihazıyla da yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece daha yaygın kullanıma sahip ve daha düşük maliyetli cihazlarla PR ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçümler her iki yöntemde de, ASTM-E132 deney standardındaki parametrelere göre yapılmıştır. Belirli uzama değerlerinde en ve boy yönlerindeki değişimler ölçülerek PR değerleri hesaplanmıştır.

4.1.1. Üniversal mukavemet test cihazı (UTT) ölçüm sonuçlarının incelenmesi

RL ve zigzag örgü yapısındaki (4x6, 4x6-G, 4x8, 4x8-G) kumaşların UTT cihazındaki PR ölçüm sonuçları Şekil 4.1'de sunulmuştur. Numunelerdeki % uzama değeri artıkça Poisson değerinin arttığı görülmektedir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, RL kumaşların en yüksek, elastanlı iplik içeren 4x8-G kodlu kumaşın ise en düşük Poisson değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Üniversal mukavemet test cihazında elde edilen Poisson oranı değerleri

UTT cihazındaki Poisson ölçüm sonuçlarına örgü tipi (RL, 4x6, 4x6-G, 4x8, 4x8-G) ve % uzama (%1, %2, …. %20) değerleri için iki faktörlü varyans analizi uygulanmıştır. Buna göre; örgü tipinin ve % uzama miktarlarının kumaşların PR değeri üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.1'de, SNK analiz sonuçları Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. UTT cihazında PR ölçümüne ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
Örgü tipi	1,98	4	0,49	8,67	0,00
% uzama	2,87	19	0,15	2,65	0,00
Örgü tipi * % uzama	1,01	76	0,01	0,23	1,00
Hata	9,12	160	0,06		
Toplam varyans	16,69	259			

Çizelge 4.2. UTT cihazında PR ölçümüne ait SNK sonuçları

Numune Kodu	Poisson Oranı			
4x8 - G	0,18 (a)			
4x6 - G	0,23 (a)			
4x8	0,28 (a)			
4x6	0,30 (a)			
RL		0,53 (b)		

Uzama (%)	Poisson Oranı			
%1	-0,04 (a)			
%2	0,02 (a)	0,02 (b)		
%3	0,08 (a)	0,08 (b)	0,08 (c)	
%4	0,15 (a)	0,15 (b)	0,15 (c)	0,15 (d)
%5	0,16 (a)	0,16 (b)	0,16 (c)	0,16 (d)
%6	0,19 (a)	0,19 (b)	0,19 (c)	0,19 (d)
%7	0,23 (a)	0,23 (b)	0,23 (c)	0,23 (d)
%8		0,25 (b)	0,25 (c)	0,25 (d)
%9		0,27 (b)	0,27 (c)	0,27 (d)
%10		0,28 (b)	0,28 (c)	0,28 (d)
%11		0,32 (b)	0,32 (c)	0,32 (d)
%12			0,33 (c)	0,33 (d)
%13			0,34 (c)	0,34 (d)
%14			0,35 (c)	0,35 (d)
%15			0,37 (c)	0,37 (d)
%17			0,39 (c)	0,39 (d)
%18			0,40 (c)	0,40 (d)
%19			0,41 (c)	0,41 (d)
%16			0,41 (c)	0,41 (d)
%20				0,43 (d)

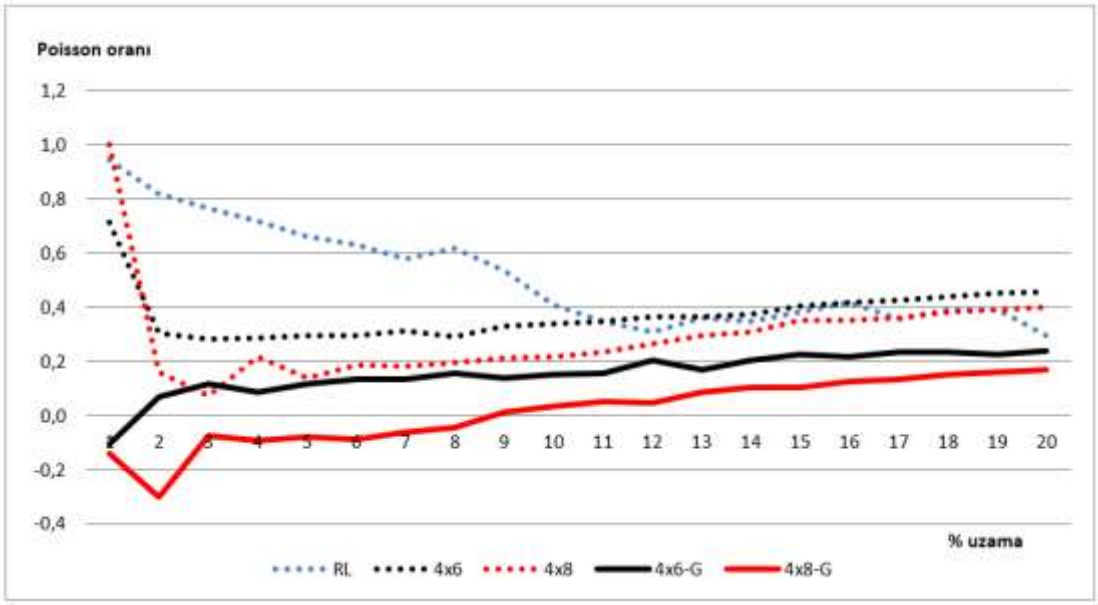
a,b,c,d değerleri sonuçların istatistiki olarak farklı olduğunu, "a"nın en düşük, "d"nin en yüksek değeri ifade ettiğini göstermektedir.

Zigzag örgü yapısındaki kumaşların PR değerleri düz örgülü kumaştan daha düşüktür. 4x8 ve 4x8-G, 4x6 ve 4x6-G'den daha düşük PR'ye sahip olduğundan numunelerdeki zigzag desenlerinin yatayla arasındaki açı değeri azaldıkça numuneler daha katlanabilir bir yapıya sahip olduğundan PR değerinin de azaldığı görülmektedir. Bu sonuç Liu (2010) ve Boakye (2018)'in çalışmalarıyla paraleldir (Liu ve diğerleri, 2010; Boakye ve diğerleri, 2018). Ayrıca elastanlı ipliklerin yer aldığı 4x6-G ve 4x8-G kodlu numuneler 4x6 ve 4x8'e göre daha düşük PR değerine sahiptir. Elastanlı iplikler kumaş sıklığını arttırarak kuvvet altında enine yönde daha fazla genişlemeye katkı sağlamaktadır.

4.1.2. Ekstensometre test cihazı ile yapılan ölçüm sonuçlarının incelenmesi

RL ve zigzag yapıdaki (4x6, 4x6-G, 4x8, 4x8-G) kumaşların ekstensometre ile yapılan PR ölçüm sonuçları Şekil 4.2'de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde; UTT cihazındaki

sonuçlara benzer olarak; RL kumaşların en yüksek, elastanlı iplik içeren 4x8-G kodlu kumaşın ise en düşük Poisson değerlerini gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Ekstensometre ile elde edilen PR değerlerine ait grafik

Ekstensometre ile yapılan PR ölçüm sonuçlarına SPSS 22 programı kullanılarak örgü tipi (RL, 4x6, 4x6-G, 4x8, 4x8-G) ve % uzama (%1, %2, …. %20) değerleri için iki faktörlü varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Buna göre; örgü tipinin ve % uzama miktarlarının kumaşların PR değeri üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir. Örgü tipi ve % uzama değerleri için yapılan SNK analiz sonuçları Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Ekstensometre ile yapılan PR ölçüm sonuçlarına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
Örgü tipi	6,23	4	1,56	72,98	0,00
% uzama	0,77	19	0,04	1,89	0,02
Örgü tipi * % uzama	3,21	76	0,04	1,98	0,00
Hata	3,41	160	0,02		
Toplam varyans	28,32	260			

Çizelge 4.4. Ekstensometre ile PR ölçümüne ait SNK sonuçları

Numune Kodu	Poisson Oranı				
4x8 - G	0,01 (a)				
4x6 - G		0,15 (b)			
4x8			0,30 (c)		
4x6				0,37 (d)	
RL					0,51 (e)

Uzama (%)	Poisson Oranı		
%2	0,12 (a)		
%3	0,15 (a)		
%5	0,16 (a)		
%4	0,17 (a)		
%6	0,17 (a)		
%7	0,17 (a)		
%8	0,18 (a)		
%9	0,20 (a)		
%10	0,20 (a)		
%11	0,21 (a)		
%12	0,23 (a)	0,23 (b)	
%13	0,24 (a)	0,24 (b)	
%14	0,25 (a)	0,25 (b)	
%15	0,28 (a)	0,28 (b)	
%16	0,29 (a)	0,29 (b)	
%17	0,29 (a)	0,29 (b)	
%18	0,31 (a)	0,31 (b)	
%19	0,31 (a)	0,31 (b)	
%20	0,31 (a)	0,31 (b)	
%1		0,41 (b)	

a,b,c,d değerleri sonuçların istatistiki olarak farklı olduğunu, "a"nın en düşük, "d"nin en yüksek değeri ifade ettiğini göstermektedir.

Ekstensometre test cihazıyla elde edilen sonuçların UTT ile elde edilen sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Zigzag örgü yapısındaki kumaşlar RL düz örgülü kumaşlara göre daha düşük PR değerine sahiptir. 4x8 desenli numuneler 4x6'ya göre

daha düşük, gipeli numuneler ise gipesiz numunelere göre daha düşük PR değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

4.1.3. Ekstensometre ile UTT test cihazlarının kıyaslanması

Ekstensometre test cihazıyla elde edilen sonuçlar, UTT cihazındaki Poisson oran ölçümüne paraleldir (korelasyon katsayısı:0,95). Ayrıca, numunelerin PR test sonuçlarının UTT ve ekstensometre cihazı ile karşılaştırılması için 3 faktörlü varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Ölçüm yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark (p:0.101) olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, iki yöntemin birbirine alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

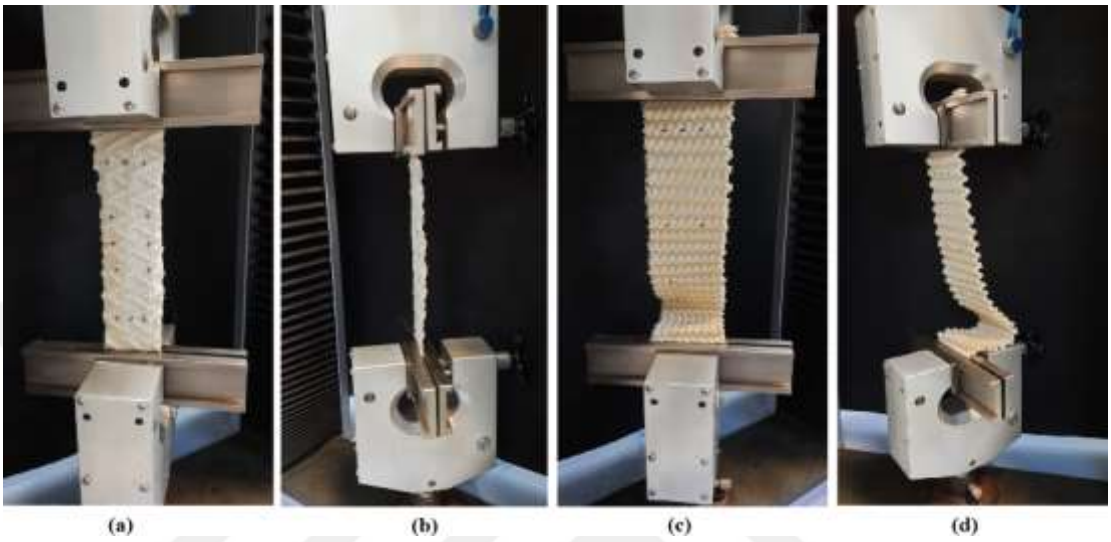
Çizelge 4.5. UTT ile Ekstensomatre cihazılarının PR ölçümünde kıyaslanmasına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
Ölçüm yöntemi	0,11	1	0,11	2,70	0,10
Örgü tipi	7,21	4	1,80	46,00	0,00
% uzama	1,86	19	0,10	2,50	0,00
Ölçüm yöntemi*Örgü tipi	1,00	4	0,25	6,39	0,00
Ölçüm yöntemi*% uzama	1,77	19	0,09	2,38	0,00
Örgü tipi*% uzama	2,76	76	0,04	0,93	0,65
Ölçüm yöntemi*Örgü tipi*% uzama	1,45	76	0,02	0,49	1,00
Hata	12,53	320	0,04		
Toplam varyans	63,59	520			

4.1.4. Katlanır yapıdaki kumaşların PR ölçümü

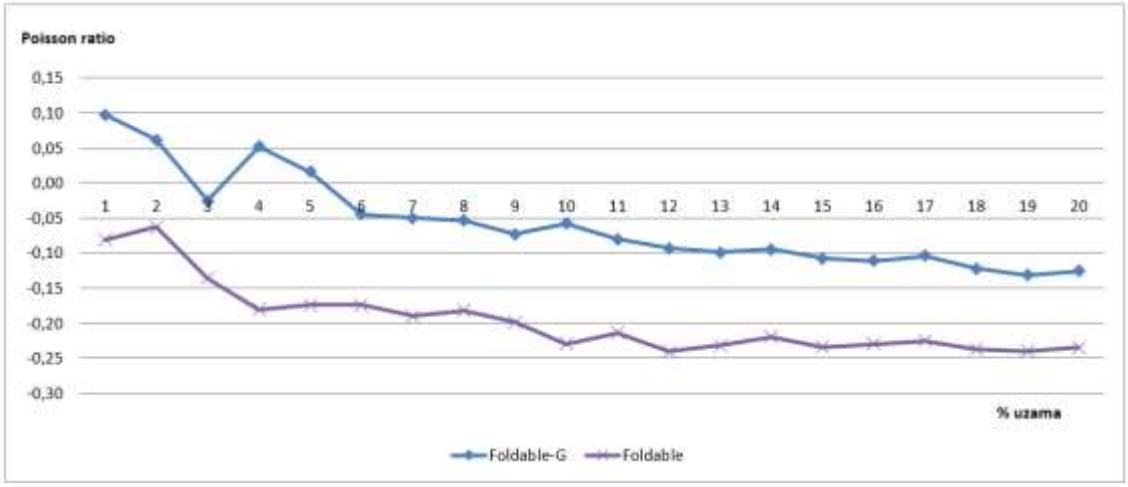
Kumaş numunesi UTT cihazında çeneler arasına dikey olarak yerleştirilir. Katlanır-foldable kumaşlar, dikey olarak yerleştirildiğinde aşağı doğru kıvrılma eğilimindedir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, yerçekimi kuvveti bir ön gerilim oluşturmakta ve kumaşların ilk yerleşim pozisyonunu deforme ederek katlanabilir kumaşların uzamasına ve orijinal şeklini değiştirilmesine neden olmaktadır. Ölçüm esnasında zigzag örgü yapısındaki kumaşlarda kumaş üzerindeki işaretlemeler net olarak görülürken (Şekil

4.3.a ve b), katlanabilir örgüdeki kumaşlarda (Fold ve Fold-G) sarkmalar nedeniyle numune üzerindeki işaretlemeler görülememekte ve kumaşın orijinal durumundan uzaklaşılmaktadır (Şekil 4.3.c ve d). Bu nedenle UTT cihazlarında katlanabilir örgüdeki kumaşların PR değerleri ölçülememektedir.



Şekil 4.3. Zigzag desenli kumaşların; **a)** önden görünüşü, **b)** yandan görünüşü ve katlanabilir tipteki kumaşların; **c)** önden görünüşü, **d)** UTT cihazında yandan görünüşü

Katlanır kumaşların PR ölçümleri SDL ATLAS M031 Fryma Fabric Ekstensometresiyle ölçülerek elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'de sunulmuştur. Fold kodlu kumaşların PR değerlerinin tümüyle negatif olduğu, Fold-G kodlu kumaşların ise %5 uzamadan sonra negatif değere sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, Fold ve Fold-G kodlu kumaşların RL ve zigzag kumaşlardan farklı olarak auxetic özelliklere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Foldable (katlanır) örgü yapısındaki kumaşları PR ölçüm sonuçları

4.2. Örgü Yapısının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

Auxetic örme kumaş üretiminde seçilen örgü yapısının kumaşların PR değerine etkisi incelenmiştir. Literatürde yer alan örgü raporlarına ilaveten auxetic yapıdaki farklı malzemeler de incelenmiştir. Malzeme şekilleri desen programında çalışılarak yeni örgü yapısında numuneler üretilmiştir. Ayrıca, konvansiyonel yapıdaki örgülerin (RL, 1x1 ribana, tam selanik, tam milano, haraşo ve interlok) Poisson oranı değerlerinin de ölçülebilmesi için konvansiyonel numuneler örülmüştür.

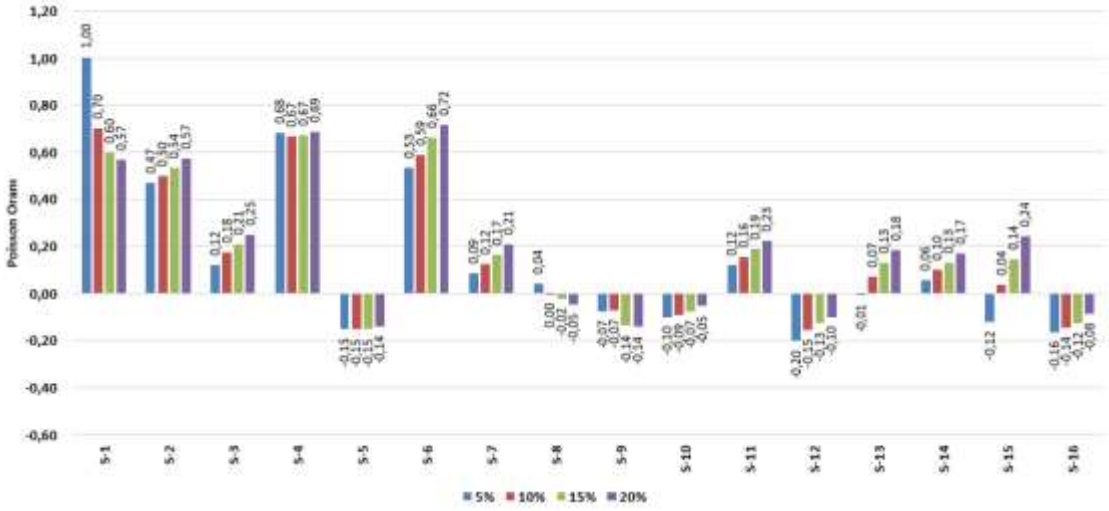
Kuru relakse ve kondüsyonlama işlemleri sonrasında numunelere sabit hızda kuvvet uygulanabilmesi için modifiye edilmiş deney tertibatında uzamaya tabi tutularak görüntüleri kaydedilmiştir. Görüntü işleme programıyla noktalar arası mesafe ölçülerek PR hesaplanmıştır. Numunelere ait PR değerleri Çizelge 4.6'da yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Örgü yapısının türünün incelendiği numunelere ait PR değerleri

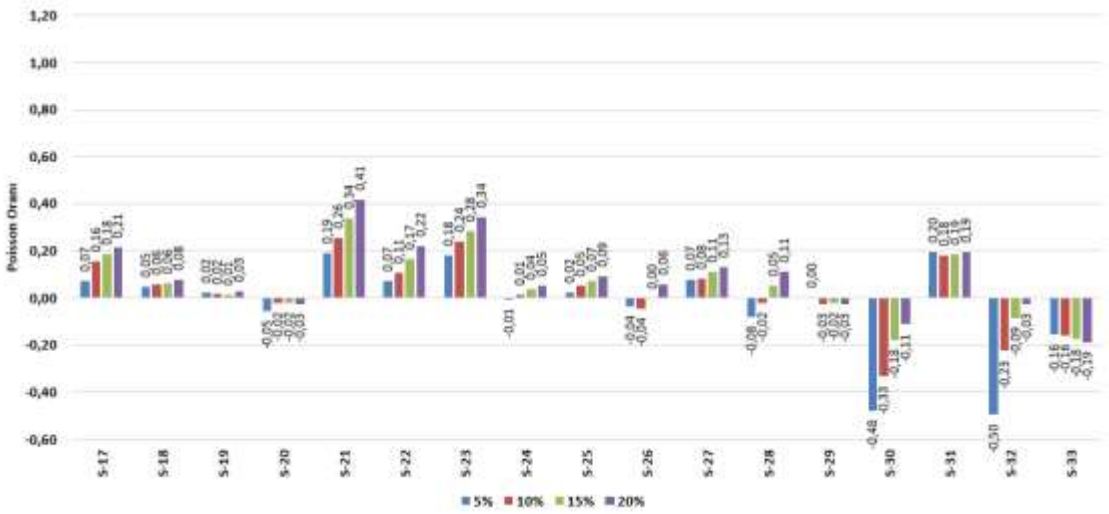
	Poisson oranı				
Numune	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**Ortalama**
S-1	1,00	0,70	0,60	0,57	0,72
S-2	0,47	0,50	0,54	0,57	0,52
S-3	0,12	0,18	0,21	0,25	0,19
S-4	0,68	0,67	0,67	0,69	0,68
S-5	**-0,15**	**-0,15**	**-0,15**	**-0,14**	**-0,15**
S-6	0,53	0,59	0,66	0,72	0,63
S-7	0,09	0,12	0,17	0,21	0,15
S-8	0,04	0,00	-0,02	-0,05	-0,01
S-9	**-0,07**	**-0,07**	**-0,14**	**-0,14**	**-0,11**
S-10	**-0,10**	**-0,09**	**-0,07**	**-0,05**	**-0,08**
S-11	0,12	0,16	0,19	0,23	0,17
S-12	**-0,20**	**-0,15**	**-0,13**	**-0,10**	**-0,15**
S-13	**-0,01**	0,07	0,13	0,18	0,10
S-14	0,06	0,10	0,13	0,17	0,12
S-15	**-0,12**	0,04	0,14	0,24	0,08
S-16	**-0,16**	**-0,14**	**-0,12**	**-0,08**	**-0,13**
S-17	0,07	0,16	0,18	0,21	0,16
S-18	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06
S-19	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
S-20	**-0,05**	**-0,02**	**-0,02**	**-0,03**	**-0,03**
S-21	0,19	0,26	0,34	0,41	0,30
S-22	0,07	0,11	0,17	0,22	0,14
S-23	0,18	0,24	0,28	0,34	0,26
S-24	**-0,01**	0,01	0,04	0,05	0,02
S-25	0,02	0,05	0,07	0,09	0,06
S-26	**-0,04**	**-0,04**	0,00	0,06	**-0,01**
S-27	0,07	0,08	0,11	0,13	0,10
S-28	**-0,08**	**-0,02**	0,05	0,11	0,02
S-29	0,00	**-0,03**	**-0,02**	**-0,03**	**-0,02**
S-30	**-0,48**	**-0,33**	**-0,18**	**-0,11**	**-0,28**
S-31	0,20	0,18	0,19	0,19	0,19
S-32	**-0,50**	**-0,23**	**-0,09**	**-0,03**	**-0,21**
S-33	**-0,16**	**-0,16**	**-0,18**	**-0,19**	**-0,17**

Süprem, interlok, ribana gibi konvansiyonel örgü yapısındaki (S1–S6) numunelerin PR değerlerinin genellikle pozitif olduğu, ortalama değer olarak süpremde 0,72 gibi yüksek değer tespit edilmiştir. Katlanır (foldable) yapıdaki (S7–S28) numunelerin PR değerinin

düşük olduğu, 0 değerinin hemen üstünde ve altında dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Zigzag yapıdaki (S29–S33) numunelerde negatif Poisson değerleri elde edilmiştir. Numunelerin farklı uzama oranı değerlerindeki PR değerlerine ait grafikler Şekil 4.5'de yer almaktadır.



Şekil 4.5. Örgü yapısının Poisson oranı değerine etkisini incelemek amacıyla üretilen numunelerin Poisson oranı ölçüm sonuçları



Şekil 4.5. Örgü yapısının Poisson oranı değerine etkisini incelemek amacıyla üretilen numunelerin Poisson oranı ölçüm sonuçları (devam)

İki faktörlü varyans analizi sonucunda örgü raporunun (p:0) ve numune uzama miktarının (p:0) Poisson oranı üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu görülmüştür. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7'de sunulmuştur. Örgü raporunun Poisson oranına

etkisinin ait SNK tablosu Çizelge 4.8'de yer almaktadır. SNK tablosu incelendiğinde S-30, S-32, S-33, S-5, S-12 kodlu numuneler en düşük PR değerlerine sahiptir. Numunelerin ortalama PR değerleri incelendiğinde; en düşük "-0,28" değerine ulaşılmıştır. Anlık değerler incelendiğinde; S-30 ve S-32 kodlu numunelerde sırasıyla; "-0,48" ve "-0,50" değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Örgü yapısının PR etkisine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
Örgü tipi	37,94	32	1,19	51,75	0,00
% uzama	0,73	3	0,24	10,61	0,00
Örgü tipi * % uzama	2,26	96	0,02	1,03	0,42
Hata	12,10	528	0,02		
Toplam varyans	59,78	660			

Auxetic örgü yapısında üretilen numunelerin Poisson oranı değerlerinin daha düşük olduğu, konvansiyonel yapıdaki numunelerde (RL, interlok, ribana, milano, selanik) Poisson değerlerinin 0,7 gibi değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Farklı olarak, haraşo örgüde -0,15 değeri ölçülmüştür. Haraşo örgü üretim sonrasında katlanarak foldable örgü yapısı elde edildiğinden auxetic özellik göstermektedir. Genel olarak zigzag örgü yapısındaki numunelerin daha düşük PR değeri olduğu sonrasında ise foldable numunelerin yer aldığı gözlenmiştir. Konvansiyonel yapıdaki numunelerin PR değerleri en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Numunelerdeki uzama değeri arttıkça Poisson oranı değerleri de artmaktadır. Bu durum çalışmanın birinci aşamasındaki verilerle paraleldir. % uzamanın PR değerine etkisine ait SNK sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Örgü raporunun Poisson oranına etkisine ait SNK tablosu

Numune	Poisson oranı																			
S-30	-0,28 (a)																			
S-32	-0,21 (a)	-0,21 (b)																		
S-33	-0,17 (a)	-0,17 (b)	-0,17 (c)																	
S-5	-0,15 (a)	-0,15 (b)	-0,15 (c)	-0,15 (d)																
S-12	-0,15 (a)	-0,15 (b)	-0,15 (c)	-0,15 (d)																
S-16		-0,13 (b)	-0,13 (c)	-0,13 (d)	-0,13 (e)															
S-9		-0,11 (b)	-0,11 (c)	-0,11 (d)	-0,11 (e)	-0,11 (f)														
S-10		-0,08 (b)	-0,08 (c)	-0,08 (d)	-0,08 (e)	-0,08 (f)	-0,08 (g)													
S-20			-0,03 (c)	-0,03 (d)	-0,03 (e)	-0,03 (f)	-0,03 (g)	-0,03 (h)												
S-29				-0,02 (d)	-0,02 (e)	-0,02 (f)	-0,02 (g)	-0,02 (h)	-0,02 (i)											
S-8				-0,01 (d)	-0,01 (e)	-0,01 (f)	-0,01 (g)	-0,01 (h)	-0,01 (i)	-0,01 (j)										
S-26				-0,01 (d)	-0,01 (e)	-0,01 (f)	-0,01 (g)	-0,01 (h)	-0,01 (i)	-0,01 (j)										
S-28					0,02 (e)	0,02 (f)	0,02 (g)	0,02 (h)	0,02 (i)	0,02 (j)	0,02 (k)									
S-19					0,02 (e)	0,02 (f)	0,02 (g)	0,02 (h)	0,02 (i)	0,02 (j)	0,02 (k)									
S-24						0,02 (f)	0,02 (g)	0,02 (h)	0,02 (i)	0,02 (j)	0,02 (k)									
S-25							0,06 (g)	0,06 (h)	0,06 (i)	0,06 (j)	0,06 (k)	0,06 (l)								
S-18							0,06 (g)	0,06 (h)	0,06 (i)	0,06 (j)	0,06 (k)	0,06 (l)								
S-15								0,08 (h)	0,08 (i)	0,08 (j)	0,08 (k)	0,08 (l)								
S-13								0,10 (h)	0,10 (i)	0,10 (j)	0,10 (k)	0,10 (l)								
S-27								0,10 (h)	0,10 (i)	0,10 (j)	0,10 (k)	0,10 (l)								
S-14								0,12 (h)	0,12 (i)	0,12 (j)	0,12 (k)	0,12 (l)								
S-22									0,14 (i)	0,14 (j)	0,14 (k)	0,14 (l)	0,14 (m)							
S-7										0,15 (j)	0,15 (k)	0,15 (l)	0,15 (m)							
S-17											0,16 (k)	0,16 (l)	0,16 (m)							
S-11											0,17 (k)	0,17 (l)	0,17 (m)	0,17 (n)						
S-3												0,19 (l)	0,19 (m)	0,19 (n)						
S-31												0,19 (l)	0,19 (m)	0,19 (n)						
S-23													0,26 (m)	0,26 (n)						
S-21														0,30 (n)						
S-2															0,52 (o)					
S-6																0,63 (p)				
S-4																0,68 (p)				
S-1																0,72 (p)				

Çizelge 4.9. % uzama – Poisson oranı değerleri arasındaki ilişkiye ait SNK sonuçları

% uzama	Poisson oranı		
5%	0,06 (a)		
10%	0,09 (a)	0,09 (b)	
15%		0,12 (b)	0,12 (c)
20%			0,15 (c)

4.3. Kumaş Üretim Parametrelerinin Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

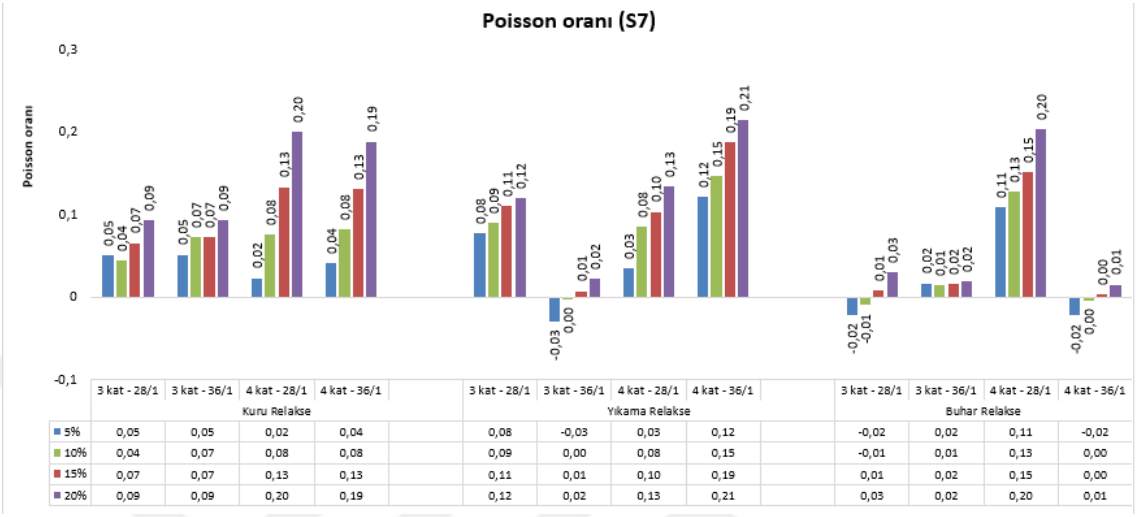
Çalışmanın üçüncü aşamasında kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisi incelenmiştir. İplik numarası (Ne 36/1, Ne 28/1), iplik katsayısının (3 katlı, 4 katlı) ve relaksasyon yönteminin Poisson oranına etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın 2.

bölümünde yer alan örgü yapılarından rastgele dört adedi (S7, S9, S12, S29) seçilerek numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Kumaş relaksasyon yönteminin PR üzerine etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen numuneler; kuru relakse, yıkama ve buharlı relaksasyon işlemlerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.10. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

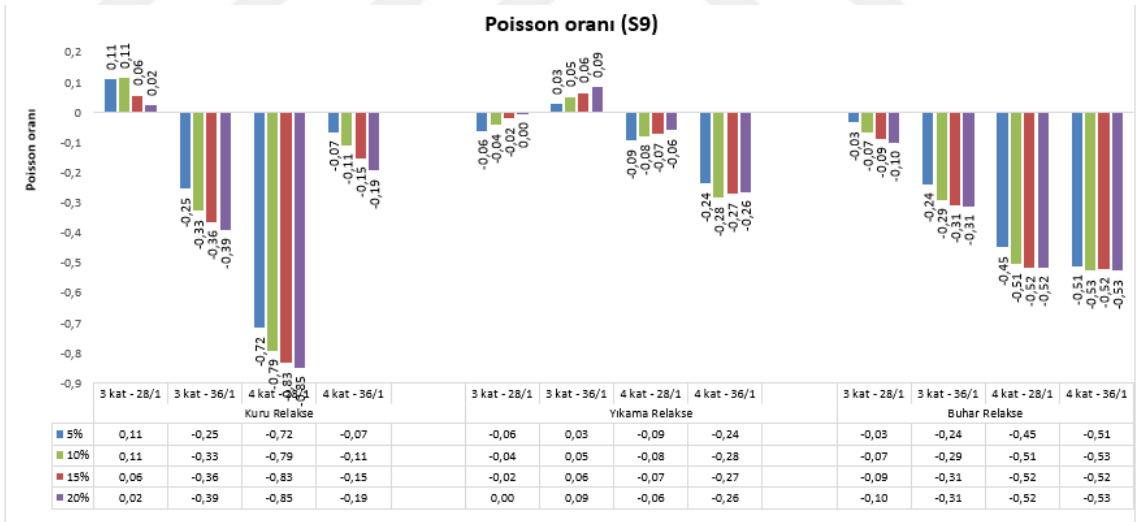
Numune				Poisson oranı				
				5%	10%	15%	20%	Ortalama
S-7	kuru	3 kat	28/1	0,05	0,04	0,07	0,09	0,06
S-7	kuru	3 kat	36/1	0,05	0,07	0,07	0,09	0,07
S-7	kuru	4 kat	28/1	0,02	0,08	0,13	0,20	0,11
S-7	kuru	4 kat	36/1	0,04	0,08	0,13	0,19	0,11
S-7	yikama	3 kat	28/1	0,08	0,09	0,11	0,12	0,10
S-7	yikama	3 kat	36/1	-0,03	0,00	0,01	0,02	0,00
S-7	yikama	4 kat	28/1	0,03	0,08	0,10	0,13	0,09
S-7	yikama	4 kat	36/1	0,12	0,15	0,19	0,21	0,17
S-7	buhar	3 kat	28/1	-0,02	-0,01	0,01	0,03	0,00
S-7	buhar	3 kat	36/1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
S-7	buhar	4 kat	28/1	0,11	0,13	0,15	0,20	0,15
S-7	buhar	4 kat	36/1	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
S-9	kuru	3 kat	28/1	0,11	0,11	0,06	0,02	0,08
S-9	kuru	3 kat	36/1	-0,25	-0,33	-0,36	-0,39	-0,33
S-9	kuru	4 kat	28/1	-0,72	-0,79	-0,83	-0,85	-0,80
S-9	kuru	4 kat	36/1	-0,07	-0,11	-0,15	-0,19	-0,13
S-9	yikama	3 kat	28/1	-0,06	-0,04	-0,02	0,00	-0,03
S-9	yikama	3 kat	36/1	0,03	0,05	0,06	0,09	0,06
S-9	yikama	4 kat	28/1	-0,09	-0,08	-0,07	-0,06	-0,08
S-9	yikama	4 kat	36/1	-0,24	-0,28	-0,27	-0,26	-0,26
S-9	buhar	3 kat	28/1	-0,03	-0,07	-0,09	-0,10	-0,07
S-9	buhar	3 kat	36/1	-0,24	-0,29	-0,31	-0,31	-0,29
S-9	buhar	4 kat	28/1	-0,45	-0,51	-0,52	-0,52	-0,50
S-9	buhar	4 kat	36/1	-0,51	-0,53	-0,52	-0,53	-0,52
S-12	kuru	3 kat	28/1	-0,17	-0,11	-0,08	-0,04	-0,10
S-12	kuru	3 kat	36/1	-0,21	-0,18	-0,16	-0,14	-0,17
S-12	kuru	4 kat	28/1	-0,12	-0,07	-0,02	0,02	-0,05
S-12	kuru	4 kat	36/1	-0,21	-0,16	-0,13	-0,10	-0,15
S-12	yikama	3 kat	28/1	-0,06	-0,02	0,00	0,01	-0,02
S-12	yikama	3 kat	36/1	-0,07	-0,06	-0,05	-0,03	-0,05
S-12	yikama	4 kat	28/1	-0,06	-0,01	0,01	0,02	-0,01
S-12	yikama	4 kat	36/1	-0,13	-0,09	-0,08	-0,06	-0,09
S-12	buhar	3 kat	28/1	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,06
S-12	buhar	3 kat	36/1	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10	-0,10
S-12	buhar	4 kat	28/1	-0,14	-0,10	-0,08	-0,06	-0,10
S-12	buhar	4 kat	36/1	-0,17	-0,16	-0,14	-0,12	-0,15
S-29	kuru	3 kat	28/1	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
S-29	kuru	3 kat	36/1	0,04	0,02	0,01	0,00	0,02
S-29	kuru	4 kat	28/1	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
S-29	kuru	4 kat	36/1	0,00	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02
S-29	yikama	3 kat	28/1	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
S-29	yikama	3 kat	36/1	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02
S-29	yikama	4 kat	28/1	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S-29	yikama	4 kat	36/1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S-29	buhar	3 kat	28/1	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01
S-29	buhar	3 kat	36/1	0,03	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
S-29	buhar	4 kat	28/1	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01	-0,01
S-29	buhar	4 kat	36/1	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01

PR ölçümleri yatay olarak kuvvet uygulanabilen ekstensometre deney cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre elde edilen veriler Çizelge 4.10'da ve grafikler Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir.



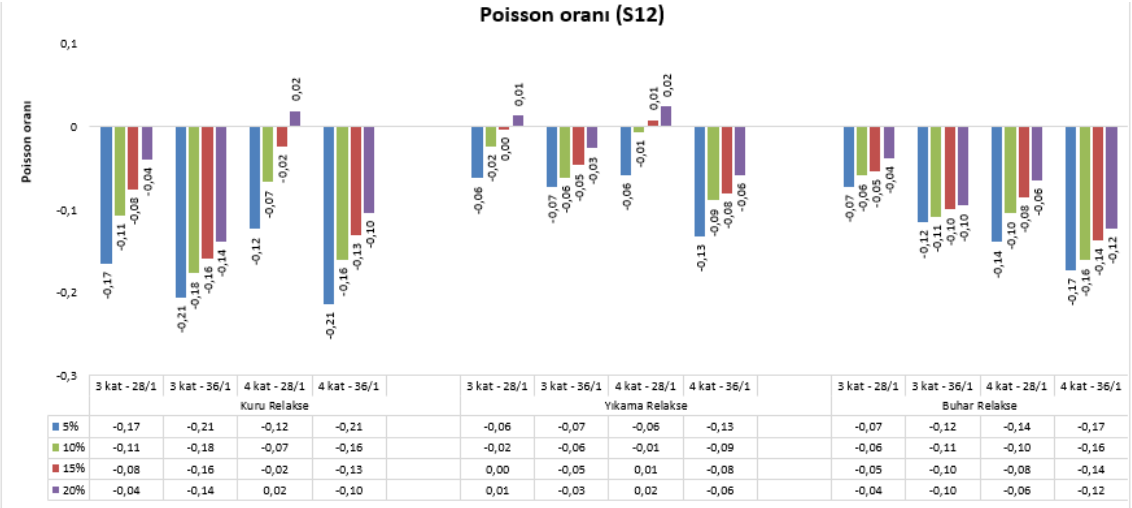
	Kuru Relakse				Yıkama Relakse				Buhar Relakse			
	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1
5%	0,05	0,05	0,02	0,04	0,08	-0,03	0,03	0,12	-0,02	0,02	0,11	-0,02
10%	0,04	0,07	0,08	0,08	0,09	0,00	0,08	0,15	-0,01	0,01	0,13	0,00
15%	0,07	0,07	0,13	0,13	0,11	0,01	0,10	0,19	0,01	0,02	0,15	0,00
20%	0,09	0,09	0,20	0,19	0,12	0,02	0,13	0,21	0,03	0,02	0,20	0,01

Şekil 4.6. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S7)



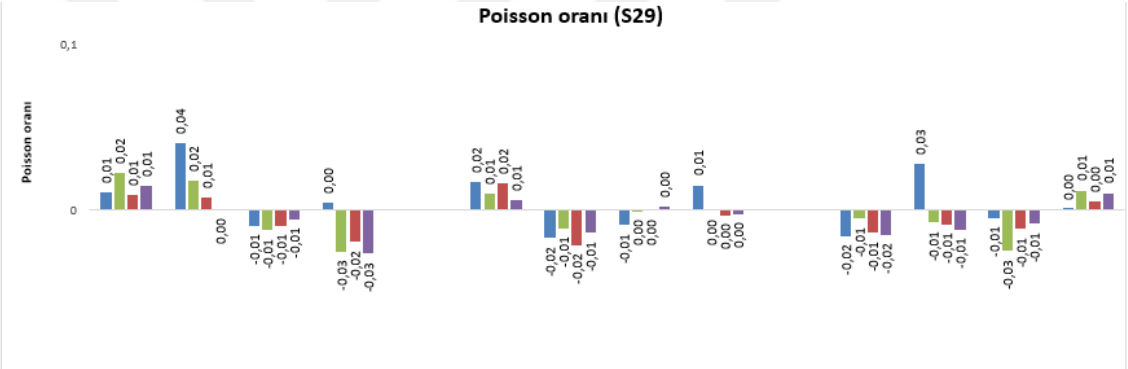
	Kuru Relakse				Yıkama Relakse				Buhar Relakse			
	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1
5%	0,11	-0,25	-0,72	-0,07	-0,06	0,03	-0,09	-0,24	-0,03	-0,24	-0,45	-0,51
10%	0,11	-0,33	-0,79	-0,11	-0,04	0,05	-0,08	-0,28	-0,07	-0,29	-0,51	-0,53
15%	0,06	-0,36	-0,83	-0,15	-0,02	0,06	-0,07	-0,27	-0,09	-0,31	-0,52	-0,52
20%	0,02	-0,39	-0,85	-0,19	0,00	0,09	-0,06	-0,26	-0,10	-0,31	-0,52	-0,53

Şekil 4.7. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S9)



	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1
	Kuru Relakse				Yıkama Relakse				Buhar Relakse			
5%	-0,17	-0,21	-0,12	-0,21	-0,06	-0,07	-0,06	-0,13	-0,07	-0,12	-0,14	-0,17
10%	-0,11	-0,18	-0,07	-0,16	-0,02	-0,06	-0,01	-0,09	-0,06	-0,11	-0,10	-0,16
15%	-0,08	-0,16	-0,02	-0,13	0,00	-0,05	0,01	-0,08	-0,05	-0,10	-0,08	-0,14
20%	-0,04	-0,14	0,02	-0,10	0,01	-0,03	0,02	-0,06	-0,04	-0,10	-0,06	-0,12

Şekil 4.8. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları(S12)



	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1	3 kat - 28/1	3 kat - 36/1	4 kat - 28/1	4 kat - 36/1
	Kuru Relakse				Yıkama Relakse				Buhar Relakse			
5%	0,01	0,04	-0,01	0,00	0,02	-0,02	-0,01	0,01	-0,02	0,03	-0,01	0,00
10%	0,02	0,02	-0,01	-0,03	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,03	0,01
15%	0,01	0,01	-0,01	-0,02	0,02	-0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
20%	0,01	0,00	-0,01	-0,03	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	0,01

Şekil 4.9. Kumaş üretim parametrelerinin Poisson oranına etkisini incelemek amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları (S29)

Üç faktörlü varyans analizine göre; örgü yapısının (p:0), relaksasyon yönteminin (p:0) ve iplik özelliklerinin (p:0) sonuçlar üzerinde istatistiki olarak etkisi bulunmaktadır. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Örgü yapısının etkisi incelendiğinde; numunelerin düşük PR değerlerine sahip olduğu, bazı numunelerin auxetic etki gösterdiği görülmüştür. Numunelere ait SNK verileri Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Kumaş üretim parametrelerinin PR etkisine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
Örgü tipi	12,97	3	4,32	422,01	0,00
Relaksasyon	1,56	2	0,78	76,00	0,00
İplik özl.	1,37	3	0,46	44,57	0,00
Örgü tipi*Relaksasyon	2,02	6	0,34	32,84	0,00
Örgü tipi*İplik özl.	5,59	9	0,62	60,66	0,00
Relaksasyon*İplik özl.	1,26	6	0,21	20,55	0,00
Örgü tipi*Relaksasyon*İplik özl.	4,89	18	0,27	26,53	0,00
Hata	9,34	912	0,01		
Toplam varyans	42,96	960			

Çizelge 4.12. Örgü yapısının PR oranına etkisine ait SNK tablosu

Numune	Poisson oranı			
S9	-0,24 (a)			
S12		-0,09 (b)		
S29			-0,002 (c)	
S7				0,72 (d)

Relaksasyon yönteminin etkisi incelendiğinde; buharlı relakse ve kuru relakse yöntemlerinde numunelerin iç gerilimleri dengelendikten sonra auxetic desen yapısının korunduğu, kuvvet uygulandığında yanal genişlemenin daha fazla sağlandığı tespit edilmiştir. Genellikle yıkama işlemi sonrasında desen yapılarının etkilendiği ve PR değerlerinde artış olduğu görülmüştür (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Relaksasyon yönteminin PR değerine etkisine ait SNK verileri

Relaksasyon	Poisson oranı		
buhar	-0,10 (a)		
kuru		-0,08 (b)	
yıkama			-0,01 (c)

İplik ile ilgili (kalınlık ve kat sayısı gibi) üretim parametrelerinin PR değerine etkisi incelenmiştir. Ne 28/1 iplik 3 kat, Ne 28/1 iplik 4 kat, Ne 36/1 iplik 3 kat ve Ne 36/1 iplik 4 kat olmak üzere dört ayrı iplik grubuyla deney yapılmıştır. Çizelge 4.14'de

sunulan SNK tablosuna göre 4 katlı ipliklerle üretilen numuneler daha düşük PR değerlerine sahiptir.

Çizelge 4.14. İplik numarasının PR değerine etkisine ait SNK verileri

İplik	Poisson oranı		
Ne 28/1 - 4 kat	-0,10 (a)		
Ne 36/1 - 4 kat	-0,09 (a)		
Ne 36/1 - 3 kat		-0,07 (c)	
Ne 28/1 - 3 kat			-0,002 (c)

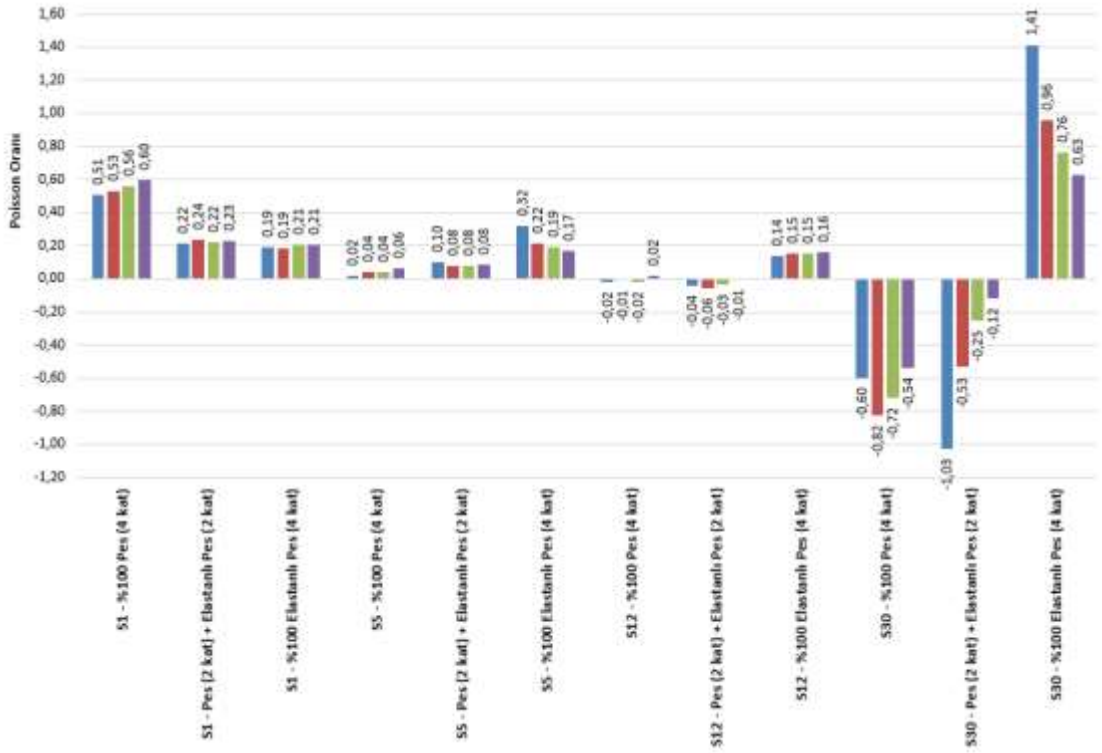
4 katlı ipliklerle üretilen numunelerde iplik numarasının istatistiki olarak etkisi bulunmazken iplik kat sayısı azaldığında (3 katlı numuneler) ince ipliklerle üretilen numunelerin (Ne 36/1) daha düşük PR değerlerine sahip olduğu görülmüştür. İnce ipliklerle üretilen numunelerde hareket imkânı artacağından ve daha rahat deforme edilebileceğinden kuvvet altında daha fazla enine genişlemektedir. Bu sonuç; Ma ve diğerleri (2015) ile Xu ve diğerlerinin (2018) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

4.4. Elastanlı İplik Kullanımının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

Çalışmanın 1. aşamasında örgü türüne göre belirli aralıklara elastanlı iplik örgüye dahil edilirken, bu aşamada farklı miktarda elastanlı iplik kullanılan numune üretilmiştir. Üretim için süprem (S1), haroşa (S5), foldable (S12) ve zigzag (S30) olmak üzere dört farklı örgü seçilmiştir. %100 polyester, polyester + elastanlı polyester ve %100 elastanlı iplik olmak üzere üç hammaddeden numune üretilerek toplamda 12 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. PR ölçüm sonuçlarına göre elde edilen değerler Çizelge 4.15'de ve Şekil 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Elastanlı iplik kullanımının Poisson oranına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

		Poisson Oranı				
	Numune	5%	10%	15%	20%	Ortalama
S-1	%100 polyester (4 kat)	0,51	0,53	0,56	0,60	0,55
S-1	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	0,22	0,24	0,22	0,23	0,23
S-1	%100 elastanlı pes (4 kat)	0,19	0,19	0,21	0,21	0,20
S-5	%100 polyester (4 kat)	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04
S-5	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
S-5	%100 elastanlı pes (4 kat)	0,32	0,22	0,19	0,17	0,22
S12	%100 polyester (4 kat)	-0,02	-0,01	-0,02	0,02	-0,01
S12	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	-0,04	-0,06	-0,03	-0,01	-0,03
S12	%100 elastanlı pes (4 kat)	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15
S30	%100 polyester (4 kat)	-0,60	-0,82	-0,72	-0,54	-0,67
S30	pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	-1,03	-0,53	-0,25	-0,12	-0,48
S30	%100 elastanlı pes (4 kat)	1,41	0,96	0,76	0,63	0,94



Şekil 4.10. Elastanlı iplik kullanımının Poisson oranına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

İki faktörlü varyans analizine göre; elastanlı ipliğin (p:0) ve örgü yapısının (p:0) sonuçlar üzerinde istatistiki olarak etkisi bulunmaktadır. Varyans analizi sonuçları çizelge 4.16'da sunulmuştur. Elastanlı polyester + polyester iplikle üretilen numunelerin

PR değeri düşük, %100 polyester ipliklerden üretilen numunelerin PR değerleri yüksek olduğu görülmüştür. Elastanlı iplik miktarının PR değerlerine etkisine ait SNK verileri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Elastanlı iplik kullanımının PR etkisine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı Ortalaması	F Testi	Önemlilik Durumu
İplik özl.	9,17	2	4,58	100,42	0,00
Örgü tipi	5,04	3	1,68	36,78	0,00
Örgü tipi*İplik özl.	24,00	6	4,00	87,65	0,00
Hata	10,41	228	0,05		
Toplam varyans	51,07	240			

Çizelge 4.17. Elastanlı iplik kullanımının PR değerine etkisine ait SNK verileri

Hammadde	Poisson oranı	
pes (2 kat) + elastanlı pes (2 kat)	-0,05 (a)	
%100 polyester (4 kat)	-0,02 (a)	
%100 elastanlı pes (4 kat)		0,38 (b)

Elde edilen verilere göre; belirli oranda elastanlı iplik kullanımının PR değerini azalttığı görülmüştür. Elastanlı iplikler birim uzunluktaki sıklık değerini arttırmakta ve kuvvet altında enine genişleme imkanı sağlamaktadır. Fakat belirli bir değerin üzerinde elastan miktarı arttıkça numune esnekliğini kaybetmektedir. Bu nedenle ilmeklerin hareket imkanı kısıtlanmakta ve kuvvet altında enine yönlü hareket edememektedir.

Elastan miktarının etkisinin sonuçları, çalışmanın 1. kısmındaki elastanlı iplik etkisiyle paralellik göstermektedir. Belirli sıralarda (aralıklara) elastanlı iplik ilavesinin PR değerini düşürdüğü görülmüştür. Çalışmanın bu bölümüde de belirli bir değere kadar elastan ilavesinin PR değerini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Cao ve diğerlerinin (2018) yılında yaptıkları çalışmada elastan iplik ilavesinin PR değerini azalttığı sonucuyla paralellik göstermektedir.

Konvansiyonel örgü yapısındaki numunelerin PR değeri yüksek, auxetic yapıdaki numunelerin düşüktür (Çizelge 4.18). Örgü yapısı etkisinin incelendiği 2. aşamadaki sonuçlarla uyumluluk tespit edilmiştir.

Çizelge 4.18. Elastanlı iplik kullanımında örgü yapısının PR değerine etkisine ait SNK verileri

Numune	Poisson oranı
S-30	-0,07 (a)
S-12	0,04 (b)
S-5 (Haroşa)	0,11 (c)
S-1 (Süprem)	0,32 (d)

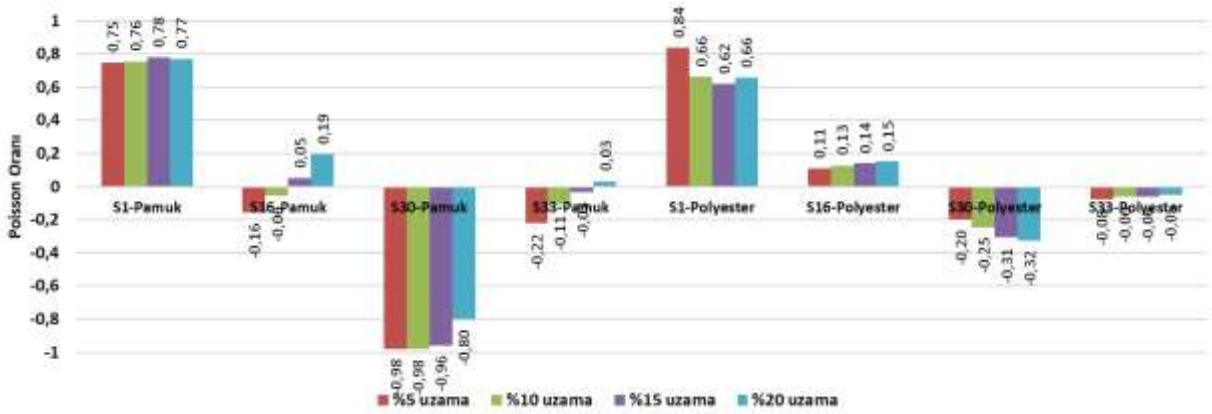
4.5. Poisson oranı ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi

Kumaşlara kuvvet uygulandığında yanal boyut değişimleri (genişleme veya daralma eğilimleri) farklılık göstermektedir. Bu durum kuvvet altındaki porozite ve geçirgenlik değerlerini etkilemektedir. Çalışmanın bu bölümünde PR değeri ile kumaş performans özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Dört farklı örgü yapısında; %100 boyalı pamuk ve %100 dry-fit polyester ipliklerinden numuneler üretilmiştir. Numunelerin PR değerleri ölçüldükten sonra; hava geçirgenliği, termal iletkenlik, su buharı geçirgenliği, ışık geçirgenliği ve kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Performans ölçümlerinde elde edilen veriler ile PR oranı değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Numunelerin PR değerleri Çizelge 4.19 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

Numune	Poisson Oranı				
	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama	Ortalama
S1-Pamuk	0,75	0,76	0,78	0,77	0,76
S16-Pamuk	-0,16	-0,06	0,05	0,19	0,01
S30-Pamuk	-0,98	-0,98	-0,96	-0,80	-0,93
S33-Pamuk	-0,22	-0,11	-0,03	0,03	-0,08
S1-Polyester	0,84	0,66	0,62	0,66	0,69
S16-Polyester	0,11	0,13	0,14	0,15	0,13
S30-Polyester	-0,20	-0,25	-0,31	-0,32	-0,27
S33-Polyester	-0,08	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06



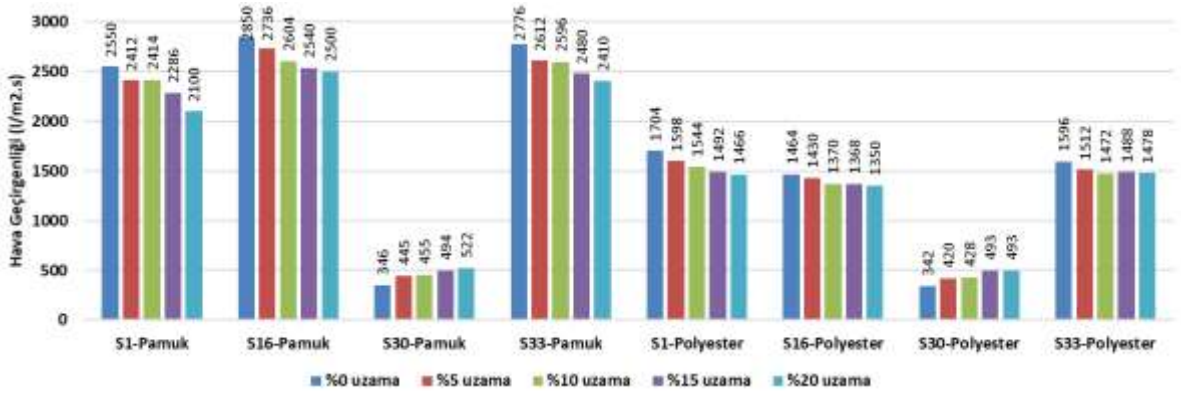
Şekil 4.11. Kumaşların Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

4.5.1. PR oranı değeri ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkinin incelenmesi

Numuneler belirli oranlarda (%0, %5, %10, %15, %20) uzatılarak hava geçirgenliği ölçümleri yapılmıştır. PR değeri ile hava geçirgenliği değeri (l/m^2.s) arasındaki ilişki incelenmiştir. Numunelerin belirli uzama değerlerindeki hava geçirgenliği değerleri Çizelge 4.20'de ve grafikler Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Poisson oranı değerleri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üretilen kumaşların Poisson oranı ölçüm sonuçları

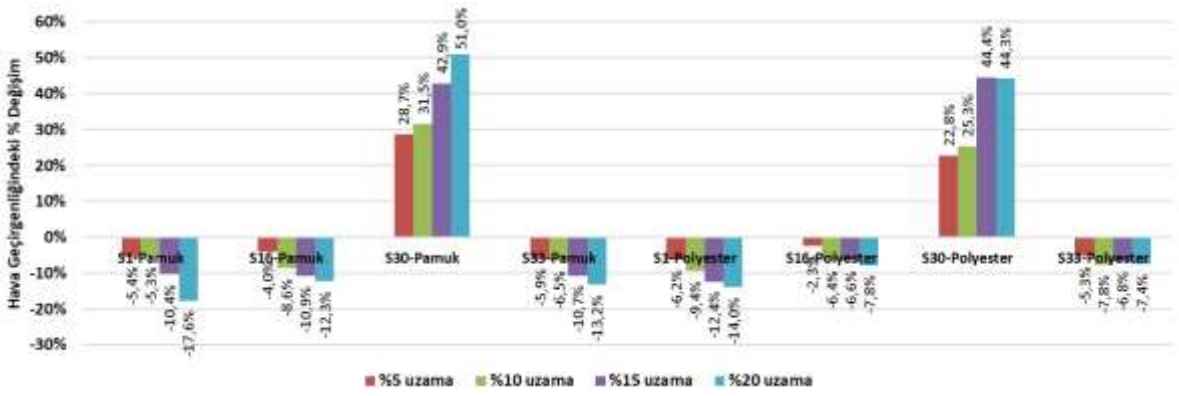
Numune	Hava Geçirgenliği (l/m^2.s)				
	%0 uzama	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama
S1-Pamuk	2550	2412	2414	2286	2100
S16-Pamuk	2850	2736	2604	2540	2500
S30-Pamuk	346	445	455	494	522
S33-Pamuk	2776	2612	2596	2480	2410
S1-Polyester	1704	1598	1544	1492	1466
S16-Polyester	1464	1430	1370	1368	1350
S30-Polyester	342	420	428	493	493
S33-Polyester	1596	1512	1472	1488	1478



Şekil 4.12. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki hava geçirgenliği (lt/m^2.s) değerleri

S1 kodlu pamuk süprem kumaşın (PR: 0,76) hava geçirgenliği %0 uzama değerinde 2550 l/m^{2}s iken %20 uzamada 2100'dür. Polyester kumaşın (PR: 0,69) aynı şekilde hava geçirgenliğinin 1704'den 1466 l/m^2.s değerine azaldığı görülmüştür. S16-pamuk (PR: 0,01), S16-polyester (PR:0,13) ve S33-pamuk (PR:-0,06), S33-polyester (PR:-0,08) kodlu numunelerde hava geçirgenliği değerlerinde daha düşük oranda azalma meydana gelmiştir. Auxetic yapıdaki S30 kodlu numunenin (pamuk PR:-0,27), (polyester PR:-0,93) hava geçirgenliği değerleri uzama artıkça diğerlerinden farklı olarak artmıştır. Pamuk ipliğinden üretilen numunede 346'dan 522 l/m^2.s değerine, polyester numunede 342'den 493 l/m^2.s değerine yükselmiş hava geçirgenliği sonucu elde edilmiştir.

PR değeri arttıkça numunelerin hava geçirgenliği değerlerinin azaldığı, PR değeri azaldıkça geçirgenlikteki azalmanın daha az olduğu, auxetic yapıdaki numunelerde hava geçirgenliğinin arttığı tespit edilmiştir. Pamuklu numunelerde; S1 (-%17,6), S33 (-%13,2), S16 (-%12,3) oranında hava geçirgenliği değerleri azalmıştır. Polyester numunelerde S1 (-%14,0), S33 (-%7,4), S16 (-%7,8) oranında hava geçirgenliği değeri azalmıştır. Fakat auxetic örgü yapısındaki S30 kodlu numuneler pamuk (%51,0) ve polyester (%44,3) oranlarında hava geçirgenliği değerleri artmıştır. Numunelerin başlangıç pozisyonundaki (%0) hava geçirgenliğinin uzamaya bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 4.13'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ali ve diğerleri (2018) çalışmasındaki; auxetic kumaşların serbest duruma göre hava geçirgenliği değerinin arttığı sonucuyla uyumludur.

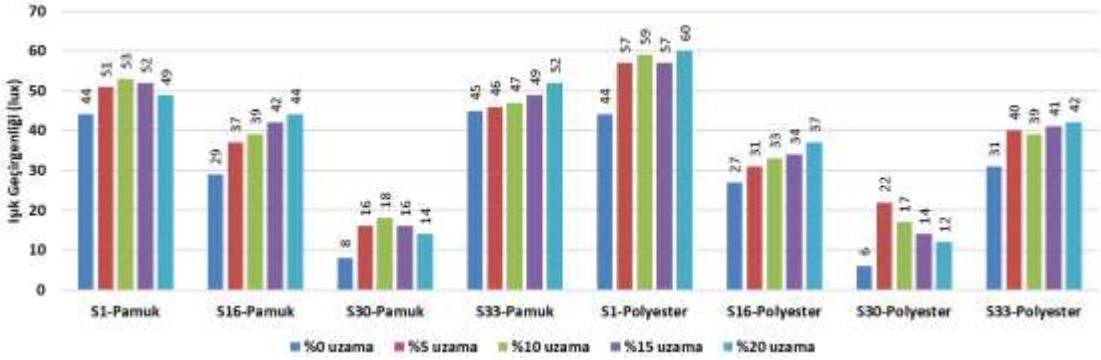


Şekil 4.13. Kumaşların uzamaya bağlı olarak hava geçirgenliğinin % değişimi

Hava geçirgenliği test sonuçları kumaşların uzama anındaki porozite değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Uzamaya bağlı porozite değişiminin incelenmesi amacıyla kumaşların ışık geçirgenliği değerleri incelenmiştir. Oluşturulan deney düzeneğinde numuneler öncelikli olarak serbest haldeyken (%0 pozisyonu) kutunun üzerine yerleştirilmiştir. Ardından luxmetre üzerinden değer okunarak bu pozisyondaki ışık geçirgenliği değeri kaydedilmiştir. Ardından sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında gerdirme tertibatında uzatılarak kuvvet altında ışık geçirme kapasiteleri ölçülmüştür. Elde edilen ışık geçirgenliği değerleri (lux) Çizelge 4.21'de ve Şekil 4.14'de sunulmuştur.

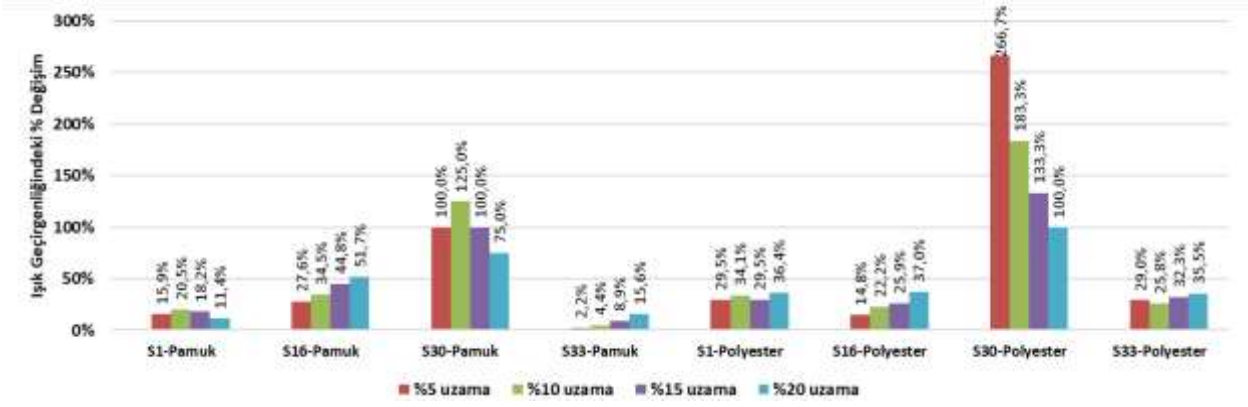
Çizelge 4.21. Numunelerin ışık geçirgenliği (lux) değerleri

Numune	Işık Geçirgenliği (lux)				
	%0 uzama	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama
S1-Pamuk	44	51	53	52	49
S16-Pamuk	29	37	39	42	44
S30-Pamuk	8	16	18	16	14
S33-Pamuk	45	46	47	49	52
S1-Polyester	44	57	59	57	60
S16-Polyester	27	31	33	34	37
S30-Polyester	6	22	17	14	12
S33-Polyester	31	40	39	41	42



Şekil 4.14. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki ışık geçirgenliği (lux) değerleri

Kumaşların ışık geçirgenliği değerlerinin hava geçirgenliği ile benzerlik gösterdiği, hava geçirgenliği yüksek olan numunelerin ışık geçirgenliğinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Auxetic yapıdaki numunelerin kuvvet altında enine genişleme eğilimli olmaları nedeniyle poroziteleri artmakta ve daha fazla hava ve ışık geçirmektedir. Konvansiyonel yapıdaki kumaşlarda enine daralma porozitedeki artışı sınırlandırmakta ve uzama arttıkça hava ışık geçirgenliği değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Süprem kumaşlarda ışık geçirgenliğindeki artış %10,2 ve %26,7 iken, auxetic numunelerdeki artış değerleri %85,7 ve %66,7'dir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kumaşların uzamaya bağlı olarak ışık geçirgenliğinin % değişimi

Auxetic yapıdaki S30 numunesi diğer numunelere göre daha düşük seviyede hava geçirgenliğine sahiptir. Fakat kontrollü şekilde hava geçirgenliğinin arttırılabilir olması kuvvete maruz olmadığında düşük hava geçirimine sahip olması, kuvvet arttıkça

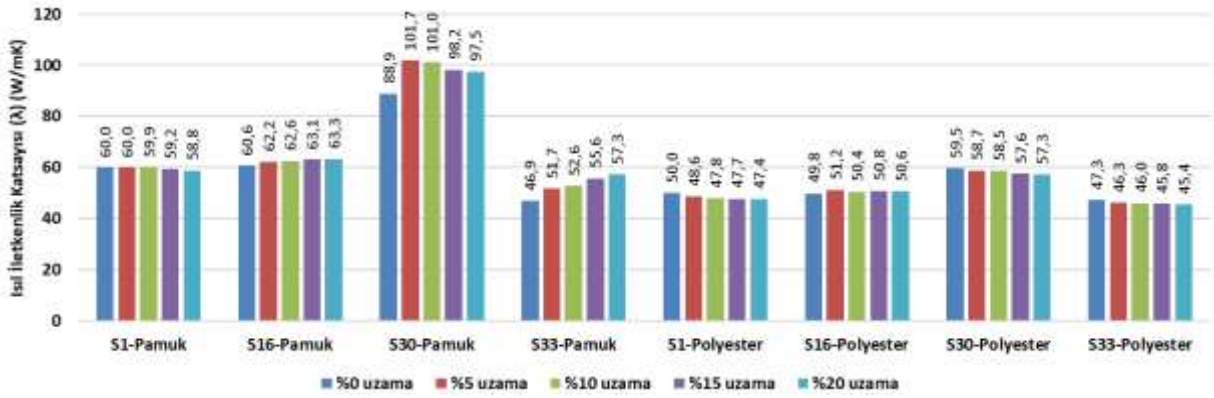
geçirgenliğin artmasının istendiği uygulamalarda veya teknik kumaş üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

4.5.2. PR değeri ile termal iletkenlik arasındaki ilişkinin incelenmesi

Kumaş numuneler belirli oranlarda (%0, %5, %10, %15, %20) uzatılarak termal iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. PR değeri ile ısı iletkenliği değeri (W/mK) arasındaki ilişki incelenmiştir. Numunelerin belirli uzama değerlerindeki ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4.22'de ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Numunelerin ısı iletkenliği (W/mK) değerleri

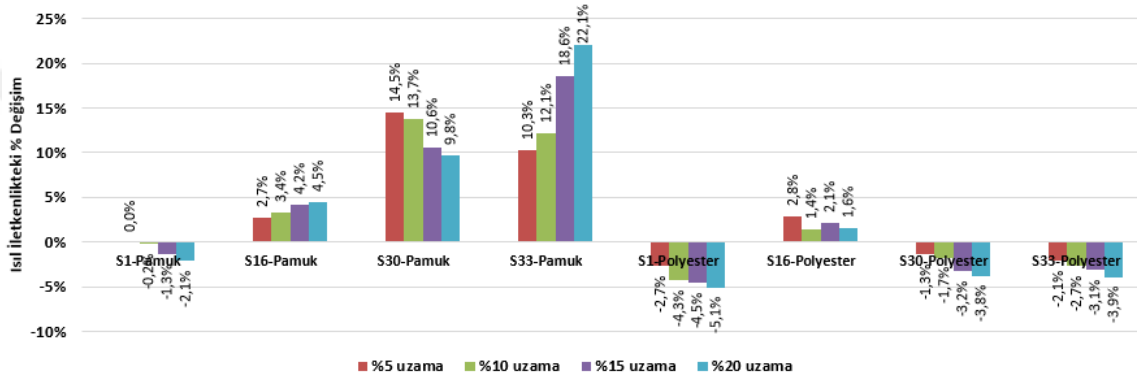
Numune	Isıl İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)				
	%0 uzama	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama
S1-Pamuk	60,0	60,0	59,9	59,2	58,8
S16-Pamuk	60,6	62,2	62,6	63,1	63,3
S30-Pamuk	88,9	101,7	101,0	98,2	97,5
S33-Pamuk	46,9	51,7	52,6	55,6	57,3
S1-Polyester	50,0	48,6	47,8	47,7	47,4
S16-Polyester	49,8	51,2	50,4	50,8	50,6
S30-Polyester	59,5	58,7	58,5	57,6	57,3
S33-Polyester	47,3	46,3	46,0	45,8	45,4



Şekil 4.16. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki ısıl iletkenlik katsayısı (λ) (W/mK) değerleri

S1 kodlu süprem numunelerin (pamuk-PR: 0,76, polyester-PR:0,69) her iki grafikte de kuvvet arttıkça termal iletkenlik değerlerinde azalma olduğu, daha yalıtkan bir yapı

oluştuğu görülmüştür. Pamuklu numunede ısı iletkenlik değerindeki azalma miktarı %2,1, polyesterde %5,1 ölçülmüştür. S16 (pamuk-PR:0,01, polyester-PR:0,13) ve S33 (pamuk-PR:-0,06, polyester-PR:-0,08) kodlu numunelerin ısı iletkenliğinin genellikle arttığı görülmüştür. S30 kodlu numunenin (pamuk-PR:-0,27, polyester-PR:-0,93) ısı geçirgenliği değişkenlik göstermektedir. Pamuklu numunede ısı iletkenliğinin %9,8 arttığı tespit edilmiştir. Genel olarak düşük PR numunelerin ısı iletkenliği değerlerinin daha yüksek olduğu, daha fazla ısı iletme kapasitesine sahip oldukları görülmüştür (Şekil 4.17).

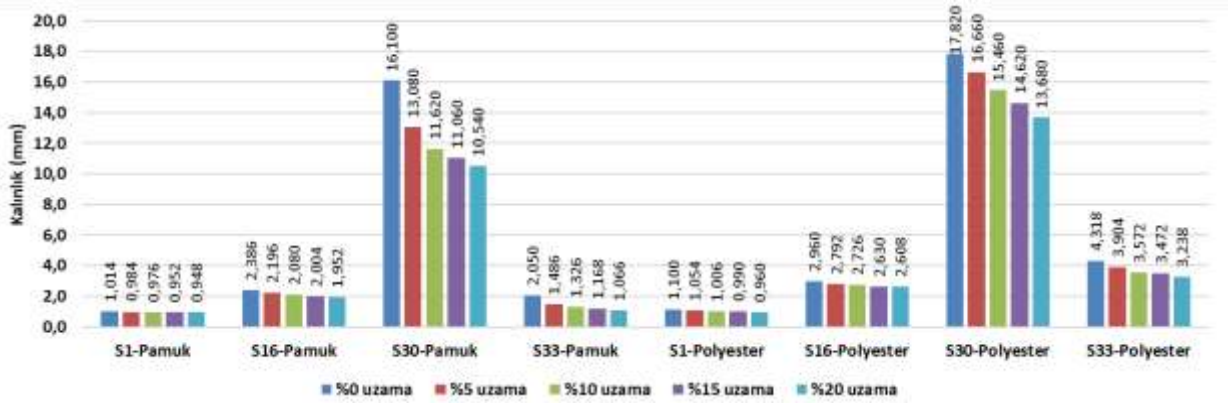


Şekil 4.17. Kumaşların uzamaya bağlı olarak ısı iletkenlik % değişimi

Termal iletkenlik değeri; birim kalınlıkta, 1^0K sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsüdür. Uzamaya bağlı olarak numunelerin kalınlık değerlerindeki değişim ısıl iletkenlik değerine doğrudan etki etmektedir. Bu nedenle kumaşların uzamaya bağlı kalınlık değerleri incelenmiştir. Numunelerin belirli uzama değerindeki kalınlık değişimleri Çizelge 4.23'de ve Şekil 4.18'de yer almaktadır.

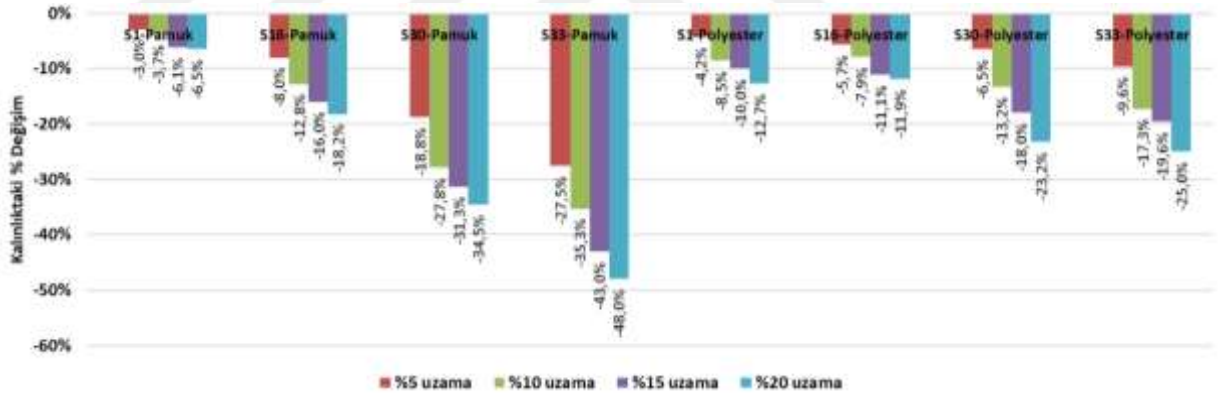
Çizelge 4.23. Numunelerin belirli uzama oranındaki kalınlık (mm) değerleri

Numune	Kalınlık (mm)				
	%0 uzama	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama
S1-Pamuk	1,014	0,984	0,976	0,952	0,948
S16-Pamuk	2,386	2,196	2,080	2,004	1,952
S30-Pamuk	16,100	13,080	11,620	11,060	10,540
S33-Pamuk	2,050	1,486	1,326	1,168	1,066
S1-Polyester	1,100	1,054	1,006	0,990	0,960
S16-Polyester	2,960	2,792	2,726	2,630	2,608
S30-Polyester	17,820	16,660	15,460	14,620	13,680
S33-Polyester	4,318	3,904	3,572	3,472	3,238



Şekil 4.18. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki kalınlık (mm) değerleri

Numunelerin kuvvet altında kalınlık değerlerinin azaldığı, düşük PR değerine sahip numunelerin kalınlıklarında azalmanın daha fazla oranda olduğu görülmektedir. Örneğin S1 (süprem) pamuğun kalınlığı %6,5 azalırken, S30 pamuğun kalınlığı %34,5, S33 pamuğun kalınlık değerinde %48 oranlarında azalma tespit edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Kumaşların uzamaya bağlı olarak kalınlık değerlerindeki % değişim

Hava yalıtkan bir malzemedir ve kumaş yapısındaki oranı arttıkça numunelerin daha yalıtkan özellikte olmasına neden olur. Numunelerin örgü yapısına bağlı olarak hava tutma kapasitelerinin farklı olması ve kumaş kalınlığındaki değişimin (incelmenin) hava hapsetme özelliklerini değiştirmesi nedeniyle ısı iletkenliği değerlerinde etkili olduğu görülmüştür. Auxetic yapıdaki malzemeler kuvvet uygulandığında enine genişlediğinden kumaş kalınlığı değerleri büyük oranda azalmaktadır. Genellikle düşük PR değerine sahip numuneler kumaş kalınlığındaki azalmaya bağlı olarak daha az

havayı hapsedebilmektedir. Bu nedenle PR değeri azaldıkça numunelerin daha fazla ısı iletimi sağladığı tespit edilmiştir.

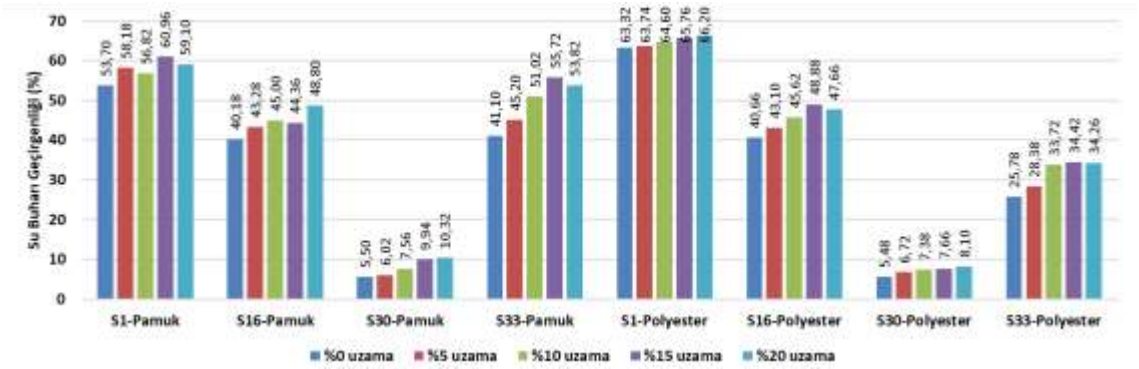
Termal iletkenlik ölçüm sonuçları Ali ve diğerlerinin (2018) çalışmasıyla farklılık göstermektedir. Çalışmada auxetic kumaşlardaki boşluklarda oluşan hava kesecikleri nedeniyle %20 daha yalıtkan olduğu aktarılmaktadır. Fakat tez çalışmasında üretilen numunelerde; orijinal duruma göre kuvvet altında kumaş kalınlığı azaldığından numunelerin yapısındaki hava miktarının azaldığı, buna bağlı olarak termal iletkenliği arttığı görülmüştür.

4.5.3. PR oranı değeri ile su buharı geçirgenliği arasındaki ilişkinin incelenmesi

Numuneler, gerdirme tertibatıyla belirli oranlarda (%0, %5, %10, %15, %20) uzatılarak su buharı geçirgenliği ölçülmüştür. PR değeri ile su buharı geçirgenliği değeri (%) arasındaki ilişki incelenmiştir. Numunelerin belirli uzama değerlerindeki su geçirgenlik değerleri Çizelge 4.24'de ve grafikler Şekil 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Kumaş numunelerin %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki su buharı geçirgenliği değerlerinin ölçümü

Numune	Su Buharı Geçirgenliği (%)				
	%0 uzama	%5 uzama	%10 uzama	%15 uzama	%20 uzama
S1-Pamuk	53,70	58,18	56,82	60,96	59,10
S16-Pamuk	40,18	43,28	45,00	44,36	48,80
S30-Pamuk	5,50	6,02	7,56	9,94	10,32
S33-Pamuk	41,10	45,20	51,02	55,72	53,82
S1-Polyester	63,32	63,74	64,60	65,76	66,20
S16-Polyester	40,66	43,10	45,62	48,88	47,66
S30-Polyester	5,48	6,72	7,38	7,66	8,10
S33-Polyester	25,78	28,38	33,72	34,42	34,26

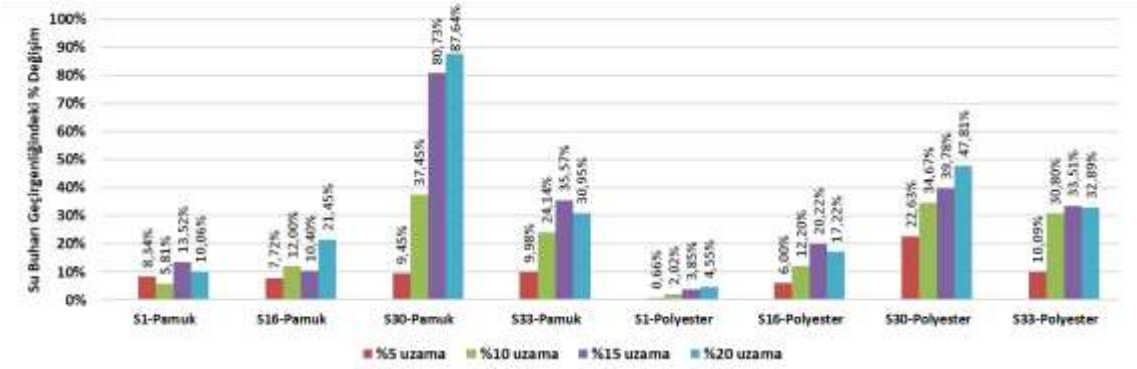


Şekil 4.20. Kumaşların %0, %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerindeki su buharı geçirgenliği değerleri

Ortalama PR değeri S1-pamuk ve S1-Polyester kumaş için sırasıyla 0,76 ve 0,69'dır. Bu kumaşların uzamaya bağlı olarak su buharı geçirgenliği değerlerdeki artışın ortalama S1-Pamuk için %9,43 ve S1-Polyester için ise %2,77'dir.

Düşük Poisson oranı değerine sahip (S16-pamuk (PR:0,01), S16-polyester (PR:0,13), S33-pamuk (PR:-0,08) ve S33-polyester (PR:-0,06)) kumaşların uzamaya bağlı olarak su buharı geçirgenliği değerlerdeki artış ortalama; S16-pamuk için %12,89, S16-polyester için %13,91, S33-pamuk için %25,16 ve S33-polyester için %26,82'dir.

Auxetic özellik gösteren S30-Pamuk (PR:-0,93) ve S30-Polyester (PR:-0,27) kumaşların uzamaya bağlı olarak su buharı geçirgenliği değerlerdeki artışın ortalama S30-Pamuk için %53,82 ve S30-Polyester için %36,22'dir. Numunelerin başlangıç pozisyonundaki (%0) su buharı geçirgenliğinin uzamaya bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Kumaşların uzamaya bağlı olarak su buharı geçirgenliği değerlerindeki % değişim

PR değeri azaldıkça; hava geçirgenliğinde olduğu gibi, su buharı geçirgenliği değerlerinde de ilk duruma göre % geçirgenlik değeri artmıştır. Bu özellikler göz önünde bulundurularak başlangıçta düşük geçirgenliğe sahipken uzama arttıkça yüksek geçirgenliğe sahip kumaş tasarlanması mümkündür.

5. SONUÇ

Konvansiyonel örgü yapılarına göre farklı davranışlar gösteren ve sağladığı üstün özellikleri sayesinde birçok alanda kullanımı artan auxetic desenli örme kumaşların, kuvvet altındaki performans özellikleri ve Poisson oranı ile ilişkisi incelenmiştir.

Auxetic malzeme üretimine en önemli faktör olan Poisson oranı ölçümüyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Farklı örgü raporlu kumaşlar üretilerek konvansiyonel ve auxetic yapıdaki numunelerin PR değerleri incelenmiştir. Üretim parametrelerindeki değişimin ve elastanlı iplik kullanımının PR değerine etkisi araştırılmıştır. Tüm verilerin ışığında nihai olarak üretilen numunelere performans testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; kuvvet altında enine yönde genişleme eğiliminde olan auxetic numunelerin geçirgenlik değerlerindeki değişimin hava ve termal iletkenlik değerleriyle ilişki incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

5.1. Poisson Oranı Ölçüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Çalışmanın birinci aşamasında zigzag yapıdaki örme kumaşlar üretilerek, hem UTT hem de ekstensometre cihazıyla Poisson oranları ölçülmüştür. Her iki yöntemle ölçülen sonuçlar karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, farklı yöntemlerle elde edilen Poisson değerlerinin istatistiki olarak aynı (p:0,101) olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle daha düşük maliyetli ve yaygın kullanıma sahip ekstensometre cihazlarıyla Poisson oranı ölçümünün gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Foldable kumaşlar UTT cihazında düşey doğrultuda yerleştirildiğinde numuneler yerçekimi etkisiyle aşağı doğru kıvrılmaktadır. Numune üzerindeki işaretlemelerden bazıları görülememekte ve kumaş orijinal durumu değişmektedir. Katlanır yapıdaki bu tür kumaşların Poisson oranı UTT cihazıyla sağlıklı olarak ölçülememektedir. Ekstensometre cihazı kullanılarak türetilen yöntemde kumaşlar yatay doğrultuda konumlandırıldığından bu problemin önüne geçilebilmektedir. Böylece hem UTT cihazında ölçülemeyen kumaşlar için alternatif bir yöntem gerçekleştirilmiş hem de

UTT cihazına göre daha ucuz ve yaygın kullanımda bulunan ekstensometre cihazı ile aynı ölçümlerin yapılabildiği tespit edilmiştir.

Ayrıca, zigzag örgü yapısındaki numunelerde desenlerin yatayla arasındaki açı değeri azaldıkça PR değerinin azaldığı görülmüştür. Belirli aralıklarla örgüye dahil edilen elastanlı ipliğin PR değerini azaltıcı etkisi olmuştur. Numunelerde uzama arttıkça PR değerleri de artmıştır.

5.2. Örgü yapısının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

Auxetic kumaş üretimiyle ilgili literatürde yer alan örgü yapılarına ilaveten farklı malzeme türlerindeki auxetic yapılardan oluşturulan desenler ve konvansiyonel desenler olmak üzere çok sayıda farklı desen, örgü yapısına uyarlanarak numuneler üretilerek PR değerleri ölçülmüştür.

Konvansiyonel örgü yapısındaki (süprem, ribana, interlok vb.) numunelerin PR değerlerinin genellikle pozitif olduğu, ortalama değer olarak süpremde 0,72 gibi yüksek değer tespit edilmiştir. Katlanır (foldable) yapıdaki numunelerin PR değerlerinin düşük olduğu, "0" değerinin hemen üstünde ve altında dağılım gösterdiği görülmüştür. Üretilen numunelerde en düşük "-0,28" değerine ulaşılmıştır. Anlık PR değerler incelendiğinde; "-0,48" ve "-0,50" değerleri elde edilmiştir. Literatürden farklı olarak, tekstil haricinde üretilen auxetic materyallerin yapıları desen programına uyarlanarak numuneler üretimi ve PR ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çok sayıda numune üretilerek konvansiyonel ve auxetic desenlerin PR değerleri ölçülmüştür.

PR ölçümleri; %5, %10, %15 ve %20 uzama değerlerinde gerçekleştirilmiştir. % uzama miktarı arttıkça PR değerinin de arttığı tespit edilmiştir.

5.3. Kumaş Üretim Parametrelerinin Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

İplik numarası, iplik katsayısı ve kumaş relaksasyon yöntemi gibi üretim parametrelerinin PR değerine etkisi incelenmiştir. İplik kalınlığının ve örgüde kullanılan

iplik katsayısı gibi parametrelerin etkisi incelendiğinde; 4 katlı ipliklerle üretilen numunelerde iplik kalınlığının PR değerinde istatistiki etkili olmadığı tespit edilmiştir. 3 katlı numunelerde ise; daha ince ipliklerle (Ne 36/1) üretilen numunelerde daha düşük PR değerleri ölçülmüştür. Bu nedenle daha ince iplik kullanımının PR değerini azaltıcı etkisi bulunmaktadır. İnce ipliklerle üretilen numunelerde hareket imkânı artacağından kuvvet altında enine genişleme kabiliyeti oluşmaktadır. Bu sonuç, Ma (2015) çalışmasıyla paralellik göstermektedir.

Relaksasyon yönteminin etkisi incelendiğinde; buharlı relakse ve kuru relakse yöntemlerinde numunelerin iç gerilimleri dengelendikten sonra auxetic örgü yapısının korunduğu, kuvvet uygulandığında yanal genişlemenin daha fazla sağlandığı tespit edilmiştir. Yıkama işlemi sonrasında örgü yapılarının etkilendiği ve PR değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

5.4. Elastanlı İplik Kullanımının Poisson Oranına Etkisinin İncelenmesi

Elastanlı iplik kullanılarak örgüde hacimli yapı oluşturulması ve böylece Poisson oranı değişiminin etkisi incelenmiştir. Çalışmanın 1. aşamasında örgü türüne göre belirli aralıklara elastanlı iplik örgüye dahil edilirken, bu aşamada her örgü sırasında 2 kat elastanlı polyester ve 2 kat polyester iplik aynı anda beslenerek veya %100 elastanlı iplik (4 kat) kullanılan numune üretilmiştir. Elastan miktarının belirli miktarda olduğu (2 kat elastanlı iplik+ 2 kat polyester) numuneler ile hiç elastan kullanılmayan (%100 polyester) ipliklerden elde edilen numunelerin Poisson değerleri istatistiki olarak aynı olmasına rağmen, %100 elastanlı ipliklerle üretilen numunelerde Poisson değerlerinde büyük artış tespit edilmiştir.

Elde edilen verilere göre; belirli oranda elastanlı iplik kullanılarak üretilen numunelerde PR değerinin azaldığı görülmüştür. Elastanlı iplikler birim uzunluktaki sıklık değerini arttırmakta ve kuvvet altında enine genişleme imkanı sağlamaktadır. Fakat belirli bir değerin üzerinde elastan miktarı arttıkça numune esnekliğini kaybetmektedir. Bu nedenle ilmeklerin hareket imkânı kısıtlanmakta ve kuvvet altında enine yönlü hareket edememektedir.

Elastan miktarının etkisi sonuçları, çalışmanın 1. kısmındaki elastik iplik etkisiyle paralellik göstermektedir. Belirli miktarda elastan ilavesinin PR değerini azaltıcı etki gösterdiği görülmüştür.

5.5. PR oranı değeri ile performans özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi

Kumaşların kuvvet altındaki PR oranı değerine bağlı olarak yanal genişleme veya daralma eğilimleri farklılık göstermektedir. Bu durum kuvvet altındaki porozite ve kumaş geçirgenlik değerlerini etkilemektedir. Çalışmanın bu bölümünde PR değeri ile kumaş performans özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

PR değeri yüksek olan S1 kodlu süprem numunelerin kuvvet altında uzatıldıkça hava geçirgenliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Daha düşük PR değerlerine sahip numunelerde hava geçirgenliğindeki azalmanın daha sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Auxetic etki gösteren numunelerde ise diğerlerinden farklı olarak, uzama arttıkça hava geçirgenliği değerleri artmıştır.

Numunelerin ışık geçirgenliği değerlerinin PR oranı ile benzerlik gösterdiği, PR değeri yüksek olan S1 (süprem) kumaşın kuvvet arttıkça porozite değerinin arttığı görülmüştür. Düşük PR değerine sahip (auxetic) yapıdaki S30 kodlu kumaşın kuvvet altındaki geçirgenliği artmıştır. Auxetic yapıdaki numunelerin kuvvet altında enine genişleme eğilimli olmaları nedeniyle poroziteleri artmakta ve daha geçirgen yapıya sahip olmaktadır. Konvansiyonel yapıdaki kumaşlarda enine daralma porozitedeki artışı sınırlandırmakta ve uzama arttıkça hava geçirgenliği değerlerinde azalmaya neden olmaktadır.

PR değeri yüksek olan S1 kodlu süprem numunelerin kuvvet arttıkça termal iletkenlik değerlerinde azalma olduğu, daha yalıtkan bir yapı oluştuğu görülmüştür. PR değeri azaldıkça termal iletkenliğin arttığı, bu artışın auxetic numunede %10 civarında olduğu tespit edilmiştir.

Numunelerin kuvvet altında kalınlık değerleri azalmaktadır. Bu azalma, numunenin düşük PR değerine sahip olması durumunda artış göstermektedir. Hava yalıtkan bir malzemedir ve kumaş yapısındaki oranı arttıkça numunelerin daha yalıtkan özellikte olmasına neden olur. Numunelerin örgü yapısına bağlı olarak hava tutma kapasitelerinin değişimi yanı sıra kalınlığa bağlı olarak havayı hapsedebilme özelliklerinin termal iletkenlik değerlerinde etkili olduğu görülmüştür. Auxetic yapıdaki malzemeler boy yönlü uzatıldığında enine genişlediğinden kumaş kalınlığı değerleri büyük oranda azalmaktadır. Bu nedenle genellikle düşük PR değerine sahip numunelerde kumaş kalınlığındaki azalmaya bağlı olarak daha az havayı hapsedebilme yeteneği sebebiyle uzama arttıkça termal iletkenlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Numunelerin belirli % uzama değerlerindeki % su buharı geçirgenliği değişimlerine ait sonuçlara göre PR değeri arttıkça, hava geçirgenliğinde olduğu gibi, su buharı geçirgenliği değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. %20 uzama oranında; auxetic numunenin su buharı geçirgenliğindeki değişim pamuk için %100'e yaklaşırken, polyester için yaklaşık %50 oranında artış olduğu ölçülmüştür.

Sonuç olarak, PR azaldıkça numunelerin en yönlü genişledikleri ve porozite değerlerinin arttığı, bunun sonucunda geçirgenliğin arttığı görülmüştür. Auxetic yapıdaki numunelerde uzama miktarı arttıkça pozitif PR numunelere göre daha fazla hava ve su buharı geçirgenliğine sahip oldukları, genel olarak ısı iletkenliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak; kuvvet uygulandığında yüksek geçirgenliğe ve yüksek ısı iletimi özelliklerine sahip ve böylece daha konforlu kumaş tasarlanması mümkündür.

KAYNAKLAR

Afzal, A., Ahmad, S., Rasheed, A., Ahmad, F., Iftikhar, F. ve Nawab, Y. (2017). Influence of fabric parameters on thermal comfort performance of double layer knitted interlock fabrics. *Autex Research Journal*, *17*(1), 20–26. https://doi.org/10.1515/aut-2015-0037

Agarwal, R., Jassal, M. ve Agrawal, A. K. (2021). Nano surface modification of poly(ethylene terephthalate) fabrics for enhanced comfort properties for activewear. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *98*, 217–230. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.03.050

Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., Bor, M. ve Özvan, E. (2017). Farklı kayalarda ultrasonik yöntem ile belirlenen poisson oranının kimyasal , fiziksel ve mekanik özelliklerle ilişkisinin belirlenmesi. In *MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu* (pp. 12–14).

Aksu, U. ve Seha Tatlıer, M. (2018). An investigation on auxetic feature and its applications. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, *02*(02), 167–176.

Albag, O. E. (2021). Auxetic materials. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, (January), 65–74. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54081-4_6

Alderson, A., Rasburn, J., Ameer-beg, S., Mullarkey, P. G., Perrie, W. ve Evans, K. E. (2000). An auxetic filter : A tuneable filter displaying enhanced size selectivity or defouling properties An auxetic filter : A tuneable filter displaying enhanced size selectivity or defouling properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.

Alderson, K., Alderson, A., Anand, S., Simkins, V., Nazare, S. ve Ravirala, N. (2012). Auxetic warp knit textile structures. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *249*(7), 1322–1329. https://doi.org/10.1002/pssb.201084216

Alderson, K. L., Simkins, V. R., Coenen, V. L., Davies, P. J., Alderson, A. ve Evans, K. E. (2005). How to make auxetic fibre reinforced composites. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *242*(3), 509–518. https://doi.org/10.1002/pssb.200460371

Ali, M., Zeeshan, M., Ahmed, S., Qadir, B., Nawab, Y., Anjum, A. S. ve Riaz, R. (2018). Development and comfort characterization of 2D-woven auxetic fabric for wearable and medical textile applications. *Clothing and Textiles Research Journal*, *36*(3), 199–214. https://doi.org/10.1177/0887302X18768048

American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard test method for poisson 's ratio at room temperature (ASTM Standard No. E132)*. https://doi.org/10.1520/E0132-04R10.2

Asad, M., Dhanasekar, M., Zahra, T. ve Thambiratnam, D. (2019). Characterisation of polymer cement mortar composites containing carbon fibre or auxetic fabric overlays and inserts under flexure. *Construction and Building Materials*, *224*, 863–879. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.120

Babalık, E., Güneşoğlu, S., Ütebay, B., Bakadur, A. ve Güneşoğlu, C. (2021). A new objective method for comfort assessment of sportswear knitted fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *31*(4), 318–328.

Bais-Singh, S., Anandjiwala, R. D. ve Goswami, B. C. (1996). Characterizing lateral contraction behavior of spunbonded nonwovens during uniaxial tensile deformation. *Textile Research Journal*, *66*(3), 131–140. https://doi.org/10.1177/004051759606600302

Bayazıt, A. (2002). *Elastik iplikli düz örgü yapıların boyutsal değişimi ve fiziksel özellikleri üzerine bir araştırma*. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi.

Biltekin, S. (2019). *Bebek giysilerinde kumaş yapısının konfor ve tutum özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi*. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Blakely, K. S. ve Toronjo, A. (2013). Articles of apparel with auxetic fabric. *United States Patent Application Publication*, *1*(19).

Boakye, A., Chang, Y., Rafiu, K. R. ve Ma, P. (2018). Design and manufacture of knitted tubular fabric with auxetic effect. *Journal of the Textile Institute*, *109*(5), 596–602. https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1361582

Can, H. O. (2017). *Akıllı malzemelerin mekanik özellikleri*. *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Cao, H., Zulifqar, A., Hua, T. ve Hu, H. (2018). Bi-stretch auxetic woven fabrics based on foldable geometry. *Textile Research Journal*, *89*(13). https://doi.org/10.1177/0040517518798646

Carneiro, V. H., Meireles, J., Puga, H. (2013). Auxetic materials - A review. *Materials Science- Poland*, *31*(4), 561–571. https://doi.org/10.2478/s13536-013-0140-6

Chang, Y. ve Ma, P. (2018). Fabrication and property of auxetic warp-knitted spacer structures with mesh. *Textile Research Journal*, *88*(19), 2206–2213. https://doi.org/10.1177/0040517517716910

Chang, Y., Ma, P. ve Jiang, G. (2017). Energy absorption property of warp-knitted spacer fabrics with negative Possion's ratio under low velocity impact. *Composite Structures*, *182*(July), 471–477. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.09.065

Chen, J. ve Du, Z. (2020). Structural design and performance characterization of stable helical auxetic yarns based on the hollow-spindle covering system. *Textile Research Journal*, *90*(3–4), 271–281. https://doi.org/10.1177/0040517519862881

Chen, J., Du, Z. ve Li, T. (2020). Structural design and characterization of highly elastic woven fabric containing helical auxetic yarns. *Textile Research Journal*, *90*(7–8), 809–823. https://doi.org/10.1177/0040517519881814

Chen, Y., Zulifqar, A. ve Hu, H. (2020). Auxeticity from the Folded Geometry: A Numerical Study. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *257*(3), 1–9. https://doi.org/10.1002/pssb.201900361

Clothes that grow. (2022), https://shop.petitpli.com/products/clothes-that-grow-set, (Erişim tarihi: 01.02.2022)

Cross, M. ve Podhajny, D. A. (2016). Knitted component having tensile strand for adjusting auxetic portion Pub . No .: US 2006 / 0222585 A1 Figure 1. https://doi.org/10.1037/t24245-000

Cubric, I. S., Cubric, G., Matkovic, V. M. P. ve Cuden, A. P. (2021). The comfort of knitted fabric: interaction of sportswear and athlete's body. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, *2*(1), 70–79.

Çukul, D. (2013). Teknik ipliklerde son yıllardaki gelişmelere örnekler. *Tekstil ve Mühendis*, *20*(91), 50–63. https://doi.org/10.7216/130075992013209106

Darja, R., Tatjana, R. ve Alenka, P.-Č. (2013). Auxetic textiles. *Acta Chimica Slovenica*, *60*(4), 715.

Dayıoğlu, H. ve Karakaş, H. (2007). *Elyaf bilgisi*. Teknik Fuarcılık.

Dubrovski, P. D., Novak, N., Borovinšek, M., Vesenjak, M. ve Ren, Z. (2019). In-plane behavior of auxetic non-woven fabric based on rotating square unit geometry under tensile load. *Polymers*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/polym11061040

Duncan, O., Shepherd, T., Moroney, C., Foster, L., Venkatraman, P. D., Winwood, K., Alderson, A. (2018). Review of auxetic materials for sports applications: Expanding options in comfort and protection. *Applied Sciences (Switzerland)*, *8*(6). https://doi.org/10.3390/app8060941

Europeane Norm. (2020). *Determination of mass per unit area using small samples (Standard No: EN 12127)*.

Evans, K. E. (1991). Auxetic polymers: a new range of materials. *Endeavour*, *15*(4), 170–174. https://doi.org/10.1016/0160-9327(91)90123-S

Evans, K. E. ve Alderson, A. (2000a). Auxetic materials: Functional materials and structures from lateral thinking! *Advanced Materials*, *12*(9), 617–628.

Evans, K. E. ve Alderson, K. L. (2000b). Auxetic materials : the positive side of being negative. *Engineering Science and Education Journal*.

Evans, K. E., Donoghue, J. P. ve Alderson, K. L. (2004). The design, matching and manufacture of auxetic carbon fibre laminates. *Journal of Composite Materials*, *38*(2), 95–106. https://doi.org/10.1177/0021998304038645

Ezazshahabi, N. (2020). A Review on the Poisson's Ratio of fabrics. *Journal of Textiles and Polymers*, *8*(1), 53–63.

Ge, Z., Hu, H. ve Liu, S. (2016). A novel plied yarn structure with negative Poisson's ratio. *Journal of the Textile Institute*, *107*(5), 578–588. https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1049069

Glazzard, M. ve Breedon, P. (2014). Weft-knitted auxetic textile design. *Physica Status Solidi (B)*, *251*(2), 267–272. https://doi.org/10.1002/pssb.201384240

Grima-Cornish, J. (2019). Auxetics : Don't pull me , I'll get fatter! *IUCr Newsletter*. Retrieved from https://www.iucr.org/news/newsletter/volume-27/number-2/auxetics#top

Grima, J. N. (2010). Auxetic Metamaterials, (May). Retrieved from http://esc.u-strasbg.fr/docs/2010/lectures/AUXETIC-METAMATERIALS_FIN.pdf

Grimmelsmann, N., Meissner, H. ve Ehrmann, A. (2016). 3D printed auxetic forms on knitted fabrics for adjustable permeability and mechanical properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *137*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/137/1/012011

Guidoin, R., King, M., Marceau, D., Cardou, A., De La Faye, D., Legendre, J. -M, ve Blais, P. (1987). Textile arterial prostheses: Is water permeability equivalent to porosity? *Journal of Biomedical Materials Research*, *21*(1), 65–87. https://doi.org/10.1002/jbm.820210111

Güneşoğlu, S. ve Meriç, B. (2006). Giysi ve kumaşlarda temas hissi. *Tekstil ve Mühendis*, *64*, 33–37.

Herakovich, C. T. (1984). Composite laminates with negative through-the-thickness Poisson's Ratios. *Journal of Composite Materials*, *18*(5), 447–455. https://doi.org/10.1177/002199838401800504

Hook, P. (2011). Uses of auxetic fibres. *United States Patent Application Publication*, *Patent No:* https://doi.org/10.1016/S0141

Hsueh, C.-H., Schmauder, S., Chen, C.-S., Chawla, K. K., Chawla, N. ve Chen, W. (2019). *Handbook of Mechanics of Materials*. *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6884-3

Hu, H. (2017). Auxetic textile materials - A review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, *1*(1), 1–20. https://doi.org/10.15406/jteft.2017.01.00002

Hu, H., Wang, Z. ve Liu, S. (2011). Development of auxetic fabrics using flat knitting

technology. *Textile Research Journal*, *81*(14), 1493–1502. https://doi.org/10.1177/0040517511404594

Hu, L. L., Zhou, M. Z. ve Deng, H. (2019). Dynamic indentation of auxetic and non-auxetic honeycombs under large deformation. *Composite Structures*, *207*(September 2018), 323–330. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.09.066

International Organization for Standardization. (1995). *Determination of the permeability of fabrics to air (Standard No. EN ISO 9237)*.

International Organization for Standardization. (2005). *Standard atmospheres for conditioning and testing (Standard No: EN ISO 139)*.

International Organization for Standardization. (2014). *Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test) (Standard No: EN ISO 11092)*.

International Organization for Standardization. (2017). *Determination of number of threads per unit length (Standard No. ISO 7211-2)*.

International Organization for Standardization. (2019). *Determination of thickness of textiles and textile products (Standard No. ISO 5084)*.

Jhanji, Y., Gupta, D. ve Kothari, V. K. (2017). Effect of fibre, yarn and fabric variables on heat and moisture transport properties of plated knit. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, *42*(3), 255–263.

Jiang, N. ve Hu, H. (2019). Auxetic yarn made with circular braiding technology. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *256*(1), 1–12. https://doi.org/10.1002/pssb.201800168

Jinyun, Z., Yi, L., Lam, J. ve Xuyong, C. (2010). The Poisson Ratio and modulus of elastic knitted fabrics. *Textile Research Journal*, *80*(18), 1965–1969. https://doi.org/10.1177/0040517510371864

Kamrul, H., Dong, W., Zulifqar, A., Zhao, S., Zhang, M. ve Hu, H. (2020). Deformation behavior of auxetic woven fabric made of foldable geometry in different tensile directions. *Textile Research Journal*, (1–13). https://doi.org/10.1177/0040517519869391

Karaca, A. (2016). Auxetic malzemelerin deneysel oalrak ve sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi. *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. http://link.springer.com/10.1007/s00024-01

Karaguzel, B. (2004). *Characterization and role of porosity in knitted fabrics*. North Carolina State University.

Kim, Y., Son, K ve Lee, J. (2021). Auxetic structures for tissue engineering scaffolds and biomedical devices. *Materials*, *14*(22), 1–17.

Krishna, B., Saxena, K., Das, R. ve Calius, E. P. (2016). Three decades of auxetics research À Materials with negative poisson's ratio : A review. *Advanced Engineering Materials*, *18*(11), 1847–1870.

Lakes, R. (1993). Advances in negative poisson's ratio materials. *Advanced Materials*, *5*(4), 293–296. https://doi.org/10.1002/adma.19930050416

Lee, W., Lee, S., C., K. ve Heo J. (2011). Moisture Sensitive Auxetic Material. *United States Patent Application Publication*, *Pub. No.:* https://doi.org/10.1037/t24245-000

Lim, T.C. (2015). *Auxetic Materials and Structures*. *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-981-287-275-3

Lim, T. C. (2021). An auxetic system based on interconnected y-elements inspired by islamic geometric patterns. *Symmetry*, *13*(5). https://doi.org/10.3390/sym13050865

Liu, Y., Hu, H., Lam, J. K. C. ve Liu, S. (2010). Negative poisson's ratio weft-knitted fabrics. *Textile Research Journal*, *80*(9), 856–863. https://doi.org/10.1177/0040517509349788

Lloyd, D. W. ve Hearle, J. W. (1977). An examination of a 'wide-jaw' test for the determination of fabric poisson ratios. *Journal of the Textile Institute*, *68*(9), 299–302. https://doi.org/10.1080/00405007708631401

Lolaki, A. ve Shanbeh, M. (2019). Variation of Poisson's ratio of fabrics woven with helical composite auxetic weft yarns in relation to fabric structural parameters. *Journal of Industrial Textiles*, *50*(2). https://doi.org/10.1177/1528083718823290

Luan, K., West, A., DenHartog, E. ve McCord, M. (2020). Auxetic deformation of the weft-knitted Miura-ori fold. *Textile Research Journal*, *90*(5–6), 617–630. https://doi.org/10.1177/0040517519877468

Ma, P., Chang, Y., Boakye, A. ve Jiang, G. (2017). Review on the knitted structures with auxetic effect. *Journal of the Textile Institute*, *108*(6), 947–961. https://doi.org/10.1080/00405000.2016.1204901

Ma, P., Chang, Y. ve Jiang, G. (2015). Design and fabrication of auxetic warp-knitted structures with a rotational hexagonal loop. *Textile Research Journal*, *86*(20), 2151–2157. https://doi.org/10.1177/0040517515621132

Mandal, S., Mazumder, N. U. S., Agnew, R. J., Grover, I. B., Song, G. ve Li, R. (2021). Using artificial neural network modeling to analyze the thermal protective and thermo-physiological comfort performance of textile fabrics used in oilfield workers' clothing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(13). https://doi.org/10.3390/ijerph18136991

Mangat, A. E., Bajzik, V., Hes, L. ve Mazari, F. B. (2015). The use of artificial neural networks to estimate thermal resistance of knitted fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *25*(4), 304–312.

Mangat, A. E., Hes, L., Bajzik, V. ve Mazari, A. (2017). Thermal absorptivity model of knitted rib fabric and its experimental verification. *Autex Research Journal*, *18*(1), 20–27. https://doi.org/10.1515/aut-2017-0003

Mazaev, A. V, Ajeneza, O. ve Shitikova, M. V. (2020). Auxetics materials : classification , mechanical properties and applications. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. https://doi.org/10.1088/1757-899X/747/1/012008

McAfee, J. ve Faisal, N. H. (2017). Parametric sensitivity analysis to maximise auxetic effect of polymeric fibre based helical yarn. *Composite Structures*, *162*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.077

Miller, W., Hook, P. B., Smith, C. W., Wang, X. ve Evans, K. E. (2009). The manufacture and characterisation of a novel, low modulus, negative Poisson's ratio composite. *Composites Science and Technology*, *69*(5), 651–655. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.12.016

Mir, M., Ali, M. N., Sami, J. ve Ansari, U. (2014). Review of mechanics and applications of auxetic structures. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2014*, 1–18. https://doi.org/10.1155/2014/753496

Morton, W. E. ve Hearle, J. W. S. (2008). *Physical Properties of Textile Fibres*. Woodhead Publishing Limited.

Naboni, R. ve Mirante, L. (2015). Metamaterial computation and fabrication of auxetic patterns for architecture. In *XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015* (pp. 129–136).

Nagy, L., Koldinská, M., Havelka, A. ve Jandová, S. (2018). The methodology for evaluation and predicting of clothing comfort for functional apparel. *Industria Textila*, *69*(3), 206–211. https://doi.org/10.35530/it.069.03.1316

Nazir, M. U., Shaker, K., Hussain, R. ve Nawab, Y. (2019). Performance of novel auxetic woven fabrics produced using helical auxetic yarn. *Materials Research Express*, *6*(8). https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab1a7e

Ng, W. S. ve Hu, H. (2017). Tensile and deformation behavior of auxetic plied yarns. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *254*(12), 1–11. https://doi.org/10.1002/pssb.201600790

Ng, W. S. ve Hu, H. (2018). Woven fabrics made of auxetic plied yarns. *Polymers*, *10*(2). https://doi.org/10.3390/polym10020226

Nguyen, D. D. ve Pham, C. H. (2018). Nonlinear dynamic response and vibration of sandwich composite plates with negative Poisson's ratio in auxetic honeycombs. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, *20*(6), 692–717. https://doi.org/10.1177/1099636216674729

Novak, N., Vesenjak, M. ve Ren, Z. (2016). Auxetic cellular materials - A review. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, *62*(9), 485–493. https://doi.org/10.5545/sv-jme.2016.3656

O'Mahony, M. ve Braddock, S. E. (2002). *Sporttech*. U.K.: Thames & Hudson Ltd.

Oğlakçıoglu, N. ve Marmaralı, A. (2013). Giysilerde ısıl konfor. *11. UlusalTesisMühendisliğiKongresi*, *17*(20), 1957–1963.

Ozkan, E. ve Kaplangiray, B. (2020). Investigating thermophysiological comfort properties of fabrics used in athlete clothes. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, *8*(October). https://doi.org/10.37532/jftte.2020.8(3).189

Özkan, E. T. ve Kaplangiray, B. M. (2019). Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, *5*(1), 50–56. https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00180

Palani Rajan, T., Kandhavadivu, P. ve Periyasamy, A. P. (2021). Influence of porosity and yarn linear density on the thermal behaviour of polyester warp knitted spacer fabrics. *Fibers and Polymers*, *0*(0), 1–10. https://doi.org/10.1007/s12221-021-0707-5

Panico, M., Langella, C. ve Santulli, C. (2017). Development of a biomedical neckbrace through tailored auxetic shapes. *Emerging Science Journal*, *1*(3), 105–117. https://doi.org/10.28991/ijse-01113

Pavko-Čuden, A. ve Rant, D. (2017). *Multifunctional foldable knitted structures: fundamentals, advances and applications*. *Textiles for Advanced Applications*.

Penko, T. ve Geršak, J. (2016). Strip quadratic method for determining the Poisson's ratio of woven fabrics. *Textile Research Journal*, *86*(1), 86–96. https://doi.org/10.1177/0040517515581583

Poisson, P. . (1827). Memoire sur l'équilibre et le mouvement des corps elastiques (p. 1756).

Rant, D., Ciobanu, R., Blaga, M. ve Pavko-Cuden, A. (2014). Compression of foldable links-links knitted structures. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *24*(4), 349–355.

Ravirala, N., Alderson, A., Alderson, K. L. ve Davies, P. J. (2005). Expanding the range of auxetic polymeric products using a novel melt-spinning route. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *242*(3), 653–664. https://doi.org/10.1002/pssb.200460384

Razbin, M., Jeddi, A. A. A., Semnani, D. ve Ramzanpoor, M. (2021). A generalized

method of measuring the Poisson's ratio of warp knitted fabrics under uniaxial loading based on image processing technique. *Journal of the Textile Institute*, *113*(1), 70–79. https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1863568

Selli, F. ve Turhan, Y. (2017). Investigation of Air Permeability and Moisture Management Properties of the Commercial Single Jersey and Rib Knitted Fabric. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *27*(1), 2017.

Shen, Y. ve Adanur, S. (2019). Mechanical analysis of the auxetic behavior of novel braided tubular structures by the finite element method. *Textile Research Journal*, *89*(23–24), 5187–5197. https://doi.org/10.1177/0040517519851840

Sibal, A. ve Rawal, A. (2015). Design strategy for auxetic dual helix yarn systems. *Materials Letters*, *161*, 740–742. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.09.060

Skertchly, D. (2011). Composite auxetic armour - Pub. No.: US 2011/0214560 A1. *United States Patent Application Publication*. https://doi.org/10.1016/j.(73)

Sloan, M. R., Wright, J. R. ve Evans, K.E. (2011). The helical auxetic yarn - A novel structure for composites and textiles; Geometry, manufacture and mechanical properties. *Mechanics of Materials*, *43*(9), 476–486. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2011.05.003

Smith, C. W., Grima, J. N. ve Evans, K. E. (2000). A novel mechanism for generating auxetic behavior in reticulated foams: missing rib foam model. *Acta Metallurgica Inc.*, *48*, 4349–4356.

Steffens, F., Oliveira, F. R., Mota, C. ve Fangueiro, R. (2017). High-performance composite with negative Poisson's ratio. *Journal of Materials Research*, *32*(18), 3477–3484. https://doi.org/10.1557/jmr.2017.340

Steffens, F., Rana, S. ve Fangueiro, R. (2016). Development of novel auxetic textile structures using high performance fibres. *Materials and Design*, *106*, 81–89. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.05.063

Turan, R. B. ve Okur, A. (2012). Investigation of pore parameters of woven fabrics by theoretical and image analysis methods. *Journal of the Textile Institute*, *103*(8), 875–884. https://doi.org/10.1080/00405000.2011.617057

Ugbolue, S. C., Yong K. Kim, Steven B. Warner, Qinguo Fan, Yang, C.-L. ve Kyzymchuk, O. (2011). Auxetic fabric structures and related fabrication methods. *United States Patent Application Publication*.

Uzun, M. (2010). Negatif poisson oranına sahip (Auxetic) malzemeler ve uygulama alanları. *Tekstil ve Mühendis*, *17*(77), 13–18.

Voelker, C., Hoffman, S., Arens, E. ve Zhang, H. (2009). Heat and Moisture Transfer Through. In *Heat and maoisture transfer through clothing* (pp. 1360–1366). Glasgow, Scotland.

Wang, Z. ve Hu, H. (2013). 3D auxetic warp-knitted spacer fabrics. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *251*(2), 281–288. https://doi.org/10.1002/pssb.201384239

Wang, Z. ve Hu, H. (2017). Tensile and forming properties of auxetic warp-knitted spacer fabrics. *Textile Research Journal*, *87*(16), 1925–1937. https://doi.org/10.1177/0040517516660889

Wang, Z., Hu, H. ve Xiao, X. (2014). Deformation behaviors of three-dimensional auxetic spacer fabrics. *Textile Research Journal*, *84*(13), 1361–1372. https://doi.org/10.1177/0040517514521120

Wright, J. R., Burns, M. K., James, E., Sloan, M. R. ve Evans, K.E. (2012). On the design and characterisation of low-stiffness auxetic yarns and fabrics. *Textile*

Research Journal, *82*(7), 645–654. https://doi.org/10.1177/0040517512436824

Xu, W., Sun, Y., Lin, H., Wei, C., Ma, P. ve Xia, F. (2020). Preparation of soft composite reinforced with auxetic warp-knitted spacer fabric for stab resistance. *Textile Research Journal*, *90*(3–4), 323–332. https://doi.org/10.1177/0040517519866938

Xu, W., Sun, Y., Raji, K. R. ve Ma, P. (2019). Design and fabrication of novel auxetic weft-knitted fabrics with Kevlar yarns. *Journal of the Textile Institute*, *110*(9), 1257–1262. https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1557359

Zeng, J., Cao, H. ve Hu, H. (2018). Finite element simulation of an auxetic plied yarn structure. *Textile Research Journal*, *89*(16), 3394–3400. https://doi.org/10.1177/0040517518813659

Zhang, G. H., Ghita, O. ve Evans, K. E. (2015). The fabrication and mechanical properties of a novel 3-component auxetic structure for composites. *Composites Science and Technology*, *117*, 257–267. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.06.012

Zhao, S, Chang, Y., Yang, Y., Zhang, M., Hasan, K. ve Hu, H. (2021). Auxetic behavior of warp knitted fabric under repeating tension. *Textile Research Journal*. https://doi.org/10.1177/0040517521989277

Zhao, Shuaiquan, Chen, Y., Chang, Y. ve Hu, H. (2021). Finite element modeling of auxetic warp-knitted fabric made of re-entrant geometry. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *2100107*, 1–8. https://doi.org/10.1002/pssb.202100107

Zhao, Shuaiquan, Hu, H., Kamrul, H., Chang, Y., ve Zhang, M. (2020). Development of auxetic warp knitted fabrics based on reentrant geometry. *Textile Research Journal*, *90*(3–4), 344–356. https://doi.org/10.1177/0040517519866931

Zulifqar, A. ve Hu, H. (2019). Geometrical analysis of bi-stretch auxetic woven fabric based on re-entrant hexagonal geometry. *Textile Research Journal*, *89*(21–22), 4476–4490. https://doi.org/10.1177/0040517519836936

Zulifqar, A., Hua, T. ve Hu, H. (2019). Single- and double-layered bistretch auxetic woven fabrics made of nonauxetic yarns based on foldable geometries. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, *1900156*, 1–13. https://doi.org/10.1002/pssb.201900156

Zulifqar, A., Kong, H., Park, S. ve Hu, H. (2014). *Auxetic composites in aerospace engineering*. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100037-3.00007-9