AUXETIC DOKUMA KUMAŞ YAPISAL PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tuğba YURDAKUL

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AUXETIC DOKUMA KUMAŞ YAPISAL PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tuğba YURDAKUL
0000-0003-0369-3757

Doç. Dr. Mine AKGÜN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AUXETIC DOKUMA KUMAŞ YAPISAL PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tuğba YURDAKUL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mine AKGÜN

Gerilme yüklemesi altında deformasyon, kumaşların fiziksel performans davranışlarını belirlemek için kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Konvansiyonel kumaş yapıları boyuna yönde uzama altında enine yönde daralma göstermesinden dolayı pozitif Poisson oranına (Poisson's Ratio-PR) sahiptir. Auxetic yapılar negatif Poisson oranına (Negative Poisson's Ratio-NPR) sahiptir ve uzama altında enine yönde genişlerler ve basıldıkça daralırlar. Auxetic yapılar gelişmiş performans özellikleri (arttırılmış mekanik özellikler, değişken geçirgenlik özelliği, geliştirilmiş enerji ve akustik emilim özellikleri vb.) göstermektedirler. Auxetic özelliğe sahip dokuma kumaş yapılarının tasarlanmasıyla, konvansiyonel kumaş yapılarına göre yapıya birçok fonksiyonel özelliğin tek adımda kazandırılabilmesi sağlanabilecektir. Kulanım alanı bakımından, özellikle teknik tekstillerde yüksek performans gerektiren alanlarda ve arttırılmış konfor özelikleri bakımından uygun kullanım alanlarında auxetic performans gösteren dokuma kumaş yapılarının kullanımı tercih edilebilecektir.

Bu çalışmada, auxetic özellik gösteren dokuma kumaş yapılarının elde edilebilmesi amacıyla dokuma kumaş yapısına auxetic etki kazandırabilecek çeşitli kumaş yapısal parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Farklı yapısal özelliklere sahip iplik (braid iplik, sarmal katlı iplik (HPY) ve monofilament lateks) ve örgü yapılarının (örgü yapısındaki iplik kesişim ve atlama miktarının etkisi) kumaşın auxetic performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan, atkı ipliği olarak hacimli iplik yapılarının (braid ve sarmal katlı iplik gibi) ve monofilament lateks yapı bileşeni kullanılarak dokunan kumaşlarda genellikle çözgü yönünde bir NPR etkisinin elde edilebileceği görülmüştür. Kumaşlardan elde edilen NPR etkisinin, ipliklerin yapısal özelliklerinden (iplikleri oluşturan filament sayılarından, ipliklerin kalınlık, hacimlilik, yumuşaklık/sertlik özelliklerinden) ve kumaşın örgü yapısından (ipliklerin kumaş içindeki bağlantı ve atlama sayılarından) etkilendiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından (Proje No.119M358) desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Auxetic etki, dokuma kumaş yapısal parametreleri
2022, ix + 70 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF AUXETIC WOVEN FABRIC STRUCTURAL PARAMETERS

Tuğba YURDAKUL

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

Supervisor: Doç. Dr. Mine AKGÜN

Deformation under tensile loading is one of the methods that can be used to determine the physical performance behaviors of fabrics. Conventional fabric structures have a positive Poisson ratio (PR) because they show contraction in the transverse direction under longitudinal elongation. Auxetic structures have a negative Poisson ratio (NPR) and they expand in the transverse direction under elongation and contract as they are compressed. Auxetic structures show improved performance properties (increased mechanical properties, variable permeability, improved energy and acoustic absorption properties, etc.). By designing woven fabric structures with auxetic properties, it would be possible to gain many functional features to the structure in one step compared to conventional fabric structures. In terms of usage area, the use of woven fabric structures with auxetic performance could be preferred in areas that require high performance especially in technical textiles and in appropriate usage areas in terms of increased comfort properties.

In this study, the effects of various fabric structural parameters that could gave auxetic effect to the woven fabric structure were investigated in order to obtain woven fabric structures with auxetic properties. The effects of yarn with different structural properties (braid yarn, helical ply yarn (HPY) and monofilament latex) and weave pattern (the effect of yarn intersection and floating amount in the weave structure) on the auxetic performances of the fabric were investigated. From the results obtained within the scope of the experimental study, it was observed that an NPR effect could generally be obtained in the warp direction, in fabrics woven by using bulky yarn structures (such as braid and helical plied yarn) and monofilament latex structure component as weft yarn. It was observed that the NPR effect obtained from the fabrics was affected by the structural properties of the yarns (the number of filaments forming the yarns, the thickness, bulkiness, softness/hardness properties of the yarns) and the weave structure of the fabric (the number of intersection and floating of the yarns in the fabric).

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK): Project No.119M358.

Key words: Auxetic effect, woven fabric constructional parameters
2022, ix + 70 pages.

TEŞEKKÜR

Üç yıl boyunca türlü zorluklara göğüs gerip birlikte büyük emek sarf ederek hazırladığımız bu tezimde bana fikirleriyle ışık tutan, bıkmadan usanmadan, gece gündüz destek veren ve cesaretlendiren saygıdeğer danışman hocam Doç.Dr. Mine AKGÜN'e en içten duygularımla ve dileklerimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof.Dr. Recep EREN, Prof.Dr. Hüseyin Aksel EREN'e ve Doç.Dr. Fatih SÜVARİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hammadde temini ve numune üretimindeki desteklerinden dolayı BOYTEKS, Kord Endüstriyel İp ve İplik Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Bağcı Elyaf ve Konfeksiyon Malzemeleri Ltd.'e teşekkürlerimi sunarım.

Bursiyer olarak görev aldığım 119M358 numaralı "Negatif Poisson Oranına Sahip (Auxetic) Dokuma Kumaş Yapılarının Tasarımı, Üretimi ve Performansının Araştırılması" başlıklı TÜBİTAK-1001 projesi kapsamındaki desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu' na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olup bana destek veren değerli arkadaşım Mustafa MEYDAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hem maddi hem de manevi olarak desteğini benden esirgemeyen babam Zeki YURDAKUL'a annem Nuran YURDAKUL'a kardeşim Ertuğrul YURDAKUL'a sonsuz teşekkür ederim.

Tuğba YURDAKUL
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 2
2.1. Negatif Poisson Oranı (Auxetic) 2
2.2. Auxetic Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları 3
2.3. Auxetic Tekstiller 5
2.3.1. Auxetic iplik yapıları üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi 5
2.3.2. Auxetic dokuma kumaş yapıları üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi 7
3. MATERYAL ve YÖNTEM 10
3.1. Materyal 10
3.1.1. Çalışmada kullanılan ipliklerin özellikleri 10
3.1.2. Çalışmada kullanılan dokuma kumaşların özellikleri 12
3.2. Yöntem 20
3.2.1. Kumaş çekme testi 20
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 24
4.1. A Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi 24
4.1.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 24
4.1.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 32
4.1.3. Lateks ve konvansiyonel atkı iplik yerleşimli A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 38
4.2. B Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi 42
4.2.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 43
4.2.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 44
4.2.3. Lateks ve braid atkı iplik yerleşimli B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 46
4.2.4. Lateks ve sarmal katlı atkı iplik yerleşimli B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi 48
4.3. C Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi 49

4.3.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan C grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi.....50
4.3.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan C grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi.....55
5. SONUÇ.....60
KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
cm	Santimetre
g	Gram
mm	Milimetre
$\mathcal{E}_B$	Boyuna Şekil Değiştirme
$\mathcal{E}_E$	Enine Şekil Değiştirme
ΔL	Uzunluk Değişimi
ν	Poisson oranı

Kısaltmalar	**Açıklama**
BAY	Braid auxetic iplik (Braid Auxetic Yarn)
HAY	Helisel auxetic iplik (Helical Auxetic Yarn)
HPY	Sarmal katlı iplik (Helical Plied Yarn)
HT	Yüksek mukavemetli (High Tenacity)
NPR	Negatif Poisson oranı (Negative Poisson's Ratio)
PR	Poisson oranı (Poisson's Ratio)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kuvvet uygulanan malzemenin boyutsal değişimi a) konvansiyonel malzeme (auxetic olmayan) b) auxetic malzeme.....2
Şekil 3.1. İplik mikroskop görüntüleri.....11
Şekil 3.2. Dokuma tezgâhı ve dokunan numune kumaş görüntüsü.....13
Şekil 3.3. A1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....14
Şekil 3.4. A2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....14
Şekil 3.5. A3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....14
Şekil 3.6. A4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....15
Şekil 3.7. A5 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....15
Şekil 3.8. A6 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....15
Şekil 3.9. B1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....16
Şekil 3.10. B2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....17
Şekil 3.11. B3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....17
Şekil 3.12. B4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....17
Şekil 3.13. B5 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....18
Şekil 3.14. B5 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....18
Şekil 3.15. C grubu kumaş örgüsünün şematik gösterimi.....18
Şekil 3.16. C1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....19
Şekil 3.17. C2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....19
Şekil 3.18. C3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....20
Şekil 3.19. C4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme).....20
Şekil 3.20. Test düzeneği ve kumaş üzerindeki işaretleyiciler.....21
Şekil 3.21. Kumaş numunesi (A4 kumaşı) üzerindeki işaretleyicilerin yerleşimi.....22
Şekil 3.22. C grubu kumaşların ölçüm düzeneği ve kumaş üzerindeki işaretleyiciler....23
Şekil 4.1. A1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....25
Şekil 4.2. A1 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....25
Şekil 4.3. A2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi..... 26
Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri..... 28
Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-1).....29
Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-2).....30
Şekil 4.5. A2 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....31
Şekil 4.6. A3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....33
Şekil 4.7. A3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....34
Şekil 4.8. A4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....35
Şekil 4.9. A4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....36
Şekil 4.10. A5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....38
Şekil 4.11. A5 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri.....39
Şekil 4.11. A5 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam).....40
Şekil 4.12. A5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....40

Şekil 4.13. A6 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....41
Şekil 4.14. A6 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....42
Şekil 4.15. B1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....43
Şekil 4.16. B1 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....43
Şekil 4.17. B2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....44
Şekil 4.18. B2 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....44
Şekil 4.19. B3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....45
Şekil 4.20. B3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....45
Şekil 4.21. B4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....46
Şekil 4.22. B4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....46
Şekil 4.23. B5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....47
Şekil 4.24. B5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....48
Şekil 4.25. B6 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....48
Şekil 4.26. B6 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....49
Şekil 4.27. C1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....50
Şekil 4.28. C2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....51
Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri.....52
Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-1).....53
Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-2).....54
Şekil 4.30. C3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....56
Şekil 4.31. C4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi.....58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. İpliklerin yapısal özelikleri 10
Çizelge 3.2. A grubu kumaşların yapısal özellikleri 13
Çizelge 3.3. B grubu kumaşların yapısal özellikleri 16
Çizelge 3.4. C grubu kumaşların yapısal özellikleri 19

1. GİRİŞ

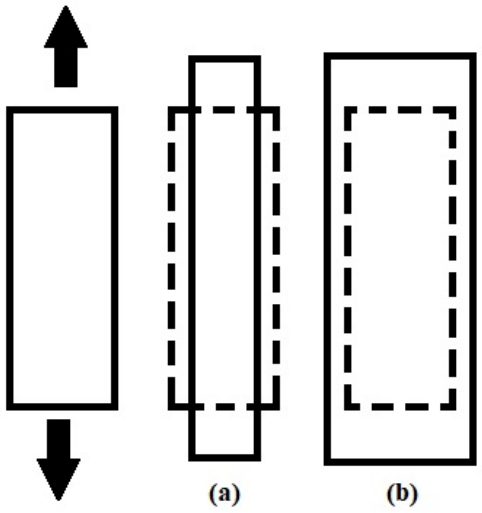
Negatif Poisson oranına (NPR) sahip malzemeler auxetic malzemeler olarak da adlandırılmaktadır. Pozitif Poisson oranına sahip malzemeler boyuna yönde uzama altında enine yönde daralma göstermektedirler. Auxetic yapılar, pozitif Poisson oranına sahip malzemelerin tersine bir özellik göstererek uzama altında enine yönde genişlerler ve basıldıkça daralırlar. Auxetic yapılar gelişmiş performans özellikleri (arttırılmış mekanik özellikler, değişken geçirgenlik özelliği, geliştirilmiş enerji ve akustik emilim özellikleri vb.) göstermektedirler. Auxetic özelliğe sahip dokuma kumaş yapılarının tasarlanmasıyla, konvansiyonel kumaş yapılarına göre yapıya birçok fonksiyonel özelliğin tek adımda kazandırılabilmesi sağlanabilecektir. Kulanım alanı bakımından, özellikle teknik tekstillerde yüksek performans gerektiren alanlarda ve arttırılmış konfor özelikleri bakımından uygun kullanım alanlarında auxetic performans gösteren dokuma kumaş yapılarının kullanımı tercih edilebilecektir.

Bu çalışmada, auxetic özellik gösteren dokuma kumaş yapılarının elde edilebilmesi amacıyla dokuma kumaş yapısına auxetic etki kazandırabilecek çeşitli kumaş yapısal parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı yapısal özelliklere sahip iplik yapıları ve kumaş örgü yapısının etkileri incelenmiştir. Kumaş oluşumunda, atkı ipliği olarak braid iplik, sarmal katlı iplik (HPY) ve monofilament lateks yapı bileşeni kullanılmıştır. Bunun yanında, braid ve sarmal katlı iplikleri oluşturan bileşen ipliklerin (filament sayısı ve bileşen iplik gruplarının özellikleri vb.), kumaşın auxetic performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Atkıda kullanılan lateks yapı bileşenin farklı sayıdaki yerleşim düzenlenmesi durumunun (birim uzunluktaki sayı etkisinin) kumaşın auxetic performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, çözgü ipliği olarak konvansiyonel yapılı ve braid yapılı iplikler kullanılmıştır. Böylece, farklı yapısal özeliklere sahip atkı ipliklerinin çözgüde konvansiyonel ve braid yapılı çözgülerin kullanılması durumunda kumaşın auxetic performansına olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kumaşlar, ipliklerin maksimum kesişim (bağlantı) yaptığı bezayağı örgü ve ipliklerin kumaş yapısı içinde uzun atlamalar (yüzmeler) yaptığı bir örgü yapısında dokunmuştur. Böylece, kumaşı oluşturan farklı yapısal parametrelere sahip atkı ipliklerinin maksimum iplik kesişimleri ve ipliklerin uzun atlamalar yaptığı durumda kumaşın auxetic performansına olan etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Negatif Poisson Oranı (Auxetic)

Negatif Poisson oranına (NPR) sahip malzemeler auxetic malzemeler olarak da adlandırılmaktadır. Auxetic malzemeler, pozitif Poisson oranına (PR) sahip malzemelerin aksine bir özellik göstererek uzamaya zorlandıkça genişlerler (Şekil 2.1) ve basıldıkça daralırlar. Poisson oranı (ν), diğer bir ifadeyle esneklik katsayısı, bir malzemeye uygulanan kuvvete dik doğrultuda meydana gelen enine birim şekil değiştirmenin, kuvvetin uygulandığı doğrultudaki boyuna birim şekil değiştirmeye negatif oranı olarak tanımlanmaktadır. İzotropik (eşyönlü) materyallerde Poisson oranı yönden bağımsızdır, anizotropik materyallerde ise gerilme yönüne ve diğer yönlere bağlıdır. Elastik eşyönlü (izotropik) malzemeler için Poisson oranı teorik olarak -1 ile 0.5 arasında değişmektedir (Uzun, 2010; Carneiro, Meireles ve Puga, 2013; Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Evans, Nkansah, Hutchınson ve Rogers, 1991; Evans ve Alderson, 2000a; Choi ve Lakes, 1991).



Şekil 2.1. Kuvvet uygulanan malzemenin boyutsal değişimi a) konvansiyonel malzeme (auxetic olmayan) b) auxetic malzeme

Poisson oranı, malzeme ölçeklerinden bağımsız fiziksel bir parametre olduğundan, auxetic davranış moleküler yapıdan makroskopik seviyeye kadar herhangi bir düzeyde elde edilebilir (Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Grima, Farrugia, Gatt ve Attard, 2008; Liu ve Hu, 2010).

Auxetic malzemelerin mekanizmaları mikro yapılarına, geometrik yapılarına veya bu yapıların deformasyon mekanizmalarına bağlıdır (Bhullar, 2015; Alderson,1999; Choi ve Lakes, 1991; Carneiro, Meireles ve Puga, 2013; Grima ve Evans, 2006; Grima, Manicaro ve Attard, 2010; Gaspar, Ren, Smith, Grima ve Evans, 2005; Attard ve Grima, 2008; Evans ve Alderson, 2002).

Deformasyon mekanizmalarına bağlı olarak, auxetic etki gösteren çeşitli kabul görmüş deformasyon modelleri vardır. Bunlar arasında, girintili (re-entrant) yapılar, döner yapılar (rijit ve yarı-rijit) (Grima, Alderson ve Evans, 2004) ve kiral (chiral) yapılar bulunmaktadır (Carneiro, Meireles ve Puga, 2013). Bu yöntemde, auxetic etki, deformasyon durumunda kumaş yapısındaki auxetic yapısal birimlerin geometrik bir düzenlemesi ile elde edilir (Cao, Zulifqar, Hua ve Hu, 2019; Hu, Wang ve Liu, 2011; Hu ve Zulifqar, 2017; Liu, Hu, Lam ve Liu, 2010; Zulifqar, Hua ve Hu, 2018; Zulifqar ve Hu, 2019a; Zulifqar ve Hu 2019b). Re-entrant yapılar, kenarları dışa doğru çıkıntı yapan altıgen hücreler tarafından oluşturulur. Tek eksenli çekme deformasyonu ile hücrenin boyutları artar ve yapıdan NPR elde edilir (Carneiro, Meireles ve Puga, 2013; Liu ve Hu, 2010).

2.2. Auxetic Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Auxetic malzemelerin sahip olduğu, arttırılmış mekanik özellikler (kopma dayanımı, aşınma dayanımı, girinti direnci, kırılma tokluğu, kesme direnci vb.), değişken geçirgenlik özelliği, sinklastik davranış, arttırılmış akustik emilim özelliği, geliştirilmiş enerji emme özellikleri, senkronize davranış, ıslak verimlilik, tutunma dayanımı (ara yüzey/matris) bu yapıları konvansiyonel malzemelere göre üstün kılmaktadır (Uzun, 2010; Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Grima, Attard, Gatt ve Cassar, 2009; Evans ve Alderson, 2000b; Yang, Li, Shi, Xie ve Yang, 2004; Uzun, 2012; Choi ve Lakes, 1992).

Auxetic materyaller, geleneksel materyallere göre geliştirilmiş bir girinti direncine sahiptir. Auxetic olmayan bir malzeme basıya maruz kaldığında, uygulanan yük malzemeyi bölgesel olarak sıkıştırır ve bu bölgesel basıncı telafi etmek için malzeme uygulanan yüke dik yönde yayılır. İzotropik bir auxetic malzeme basıya maruz kaldığında, bölgesel bir sıkışma gözlenir.

Uygulanan yük altında yoğunlaşan bir malzeme akışı vardır ve basıya karşı daha yüksek direnç gösteren daha yoğun bir malzeme alanı oluşturulur (Evans ve Alderson, 2000a; Carneiro, Meireles ve Puga, 2013; Evans ve Alderson, 2000b; Yao, Uzun ve Patel, 2011; Alderson,1999).

Auxetic malzemeler sinklastik bir davranış sergilerler. sinklastik davranış, bir cismin büküldüğünde kubbe şeklinde deforme olabilme yeteneğidir. Malzemelerin temel mekanik özellikleri göz önüne alındığında, bir malzeme büküldüğünde gerilme ve basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bükülme etkisiyle konvansiyonel bir malzemede konkav bir deformasyon meydana gelirken, auxetic malzemelerde ise malzemenin dış kısımlarında bir genişleme ve iç kısımlarında bir büzülme vardır. Auxetic malzemeyi bükerken, uzatılan malzemenin genişlemesi ve sıkıştırılmış kısmın büzülmesinin bir sonucu olarak kubbe şeklinde deformasyon meydana gelir (Carneiro, Meireles ve Puga, 2013). Senklastik eğrilik özelliği, auxetic bir malzemenin eğri yüzeylerle teamsında daha iyi uyum sağlama özelliği kazandırır.

Gözenek boyutlarının ayarlanması açısından, auxetic kumaşlar giysi konforunun önemli olduğu giysilerde (su buharı geçirgen kumaşlar vb.), tıbbi tekstillerde gözenek açıklığının gerilmesiyle ajan salınımı (anti-perspirant vb.) sağlayan yapıların geliştirilmesinde ve filtreleme işlemlerinde geçiş basıncını kontrol etmek amacıyla akıllı filtrelerin üretiminde kullanılabilir (Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Carneiro, Meireles ve Puga, 2013; Ugbolue ve diğerleri, 2010; Uzun, 2010; Yao ve diğerleri, 2011).

Auxetic malzemelerin konvansiyonel malzemelerle elde edilen maksimum yükün iki katından fazla dayanabileceği gösterilmiştir. Bu özellik, lif ve matris arasında daha güçlü bir yapışma oluşturmasından dolayı tekstil takviyeli kompozitler için önemlidir (Uzun, 2012: 70). Auxetic malzemelerin göstermiş olduğu arttırılmış bir çentik direnci etkisi, bu malzemelerin koruyucu ekipman kullanımları ve geliştirilmiş akustik özellikler, ses yalıtımı uygulamaları için uygundur (Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Grima, Attard, Gatt ve Cassar, 2009; Uzun, 2010; Evans ve Alderson, 2000b; Yang, Li, Shi, Xie ve Yang, 2004; Uzun, 2012; Choi ve Lakes, 1992).

Auxetic malzemelerin tekstildeki kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir;

- kurşungeçirmez ve patlama etkilerine dayanıklı koruyucu tekstil ürünlerinde (kask, dizlik vb.),
- gözenek büyüklüklerinin ayarlanabilmesi bakımından giyim konforunun önemli olduğu hava alabilen kumaşlarda,
- medikal tekstillerde ilaç salınım özellikli yara bantlarında,
- gelişmiş hassaslıkta filtre üretiminde,
- endüstriyel dayanıma sahip halat ve iplik üretiminde,
- emniyet kemerleri, tekstil takviyeli kompozit üretiminde (araç gövdesi veya araba tamponu gibi kompozit materyallerde),
- viskoelastik sönümleme malzemeleri, ambalaj, araba koltuk başlıkları ve tampon sistemleri, toprak destekleyici, araç-tren yolu, duvar ve köprü destekleyicisi olarak kullanımı geliştirilebilir özelliklere sahiptir (Uzun, 2010; Yao, Uzun ve Patel, 2011; Ugbolue ve diğerleri, 2010).

2.3. Auxetic Tekstiller

2.3.1. Auxetic iplik yapıları üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi

Auxetic özellikli iplik geliştirme çalışmalarında, auxetic özelliklere sahip olmayan bileşenlerden oluşan multifilament iplik konstrüksiyonu ile auxetic özelliklere sahip bir iplik yapısı sunulmaktadır. Literatürde iki veya daha fazla multifilament yapının uygun şekilde birleştirilmesiyle auxetic yapıların elde edilebileceği belirtilmektedir (Darja, Tatjana ve Alenka, 2013; Sloan, Wright ve Evans, 2011).

Literatürde, auxetic iplikler üzerinde yapılan çalışmalarda, helisel auxetic iplik (HAY) yapısı sunulmuştur (Ge, Hu ve Liu, 2016; Jiang ve Hu, 2019). HAY yapısı, farklı sertlik seviyelerine sahip iki iplik bileşeninin çift sarmal formda birleştirilmesiyle oluşturulur. HAY yapısı, "öz" olarak adlandırılan düz elastomerik bir iplik ve bu özlü ipliğin etrafına sarılmış nispeten daha sert bir iplik yapısından oluşur. Gerilme yüklemesi altında, sert sargı ipliği düzleşerek özlü ipliği kavisli bir şekle sokar, bunun bir sonucu olarak, iplik yapısı yanal yönde genişler (Ge, Hu ve Liu, 2016; Jiang ve Hu, 2019). Böylece, enine genişleme gösteren iplik yapısınıdan NPR etkisi elde edilmiş olur.

HAY yapısı üzerine yapılan bir çalışmada, sarma lifinin başlangıç açısının auxetic davranışın büyüklüğünü belirlediği belirtilmiştir. Auxetic performans ayrıca sargı-çekirdek liflerinin çap oranından ve bu liflerin doğal Poisson oranlarından da etkilenmiştir (Sloan, Wright ve Evans, 2011). Auxetic iplikler üzerinde yapılan başka bir çalışmada, NPR etkisinin, daha yüksek çap oranı ve daha düşük helisel açı ve ayrıca sargı filamanının daha büyük bir çekme modülü ile daha belirgin hale geldiği belirtilmiştir (Du, Zhou, He ve Liu, 2015). Yeni bir auxetic katlı iplik yapısı üzerinde yapılan bir çalışmada, auxetic etkinin eksenel gerinim ile değiştiği belirtilmiştir (Ge, Hu ve Liu, 2016). Yapılan çalışmalarda, HAY yapısının bazı sınırlamaları olduğu tespit edilmiştir. HAY yapısında, sert sargı ipliği, tekrarlanan uzama altında özlü ipliğin yüzeyi boyunca kolayca kayabilir. Ayrıca iplik büküm işleminin düzgün yapılmaması durumunda zorluklar ortaya çıkabilir. Sert sargı ipliği uzadıktan sonra kolaylıkla gevşeyebileceğinden, bu durum ipliğin yapısal stabilitesinde bir azalmaya neden olabileceği belirtilmiştir (Miller, Hook, Smith, Wang ve Evans, 2009; Sloan, Wright ve Evans, 2011; Wright, Burns, James, Sloan ve Evans, 2012; Ge, Hu ve Liu, 2016; Liu, Du, Xie, Liu ve Yang, 2018; Jiang ve Hu, 2019)

Geleneksel HAY yapısındaki iplik kayma problemini önlemek amacıyla dairesel braid teknolojisi ile yapılan yeni bir tür auxetic iplik bildirilmiştir. Sonuçlar, yeni geliştirilen auxetic iplik yapısında kayma sorununun ortadan kaldırıldığını göstermiş, ayrıca erken aktivasyon ve daha yüksek bir NPR büyüklüğü elde edilebildiği belirtilmiştir. Sonuçlar ayrıca, sert ipliğin numarası ve düzeni, özlü iplik ve elastik iplik çapı dahil tüm yapısal parametrelerin yeni iplik yapısının auxetic etkisini etkilediğini göstermiştir (Jiang ve Hu, 2019).

Literatürde, auxetic davranış sergileyen yeni bir braid iplik yapısının (BAY-Braid Auxetic Yarn) önerildiği bir çalışmada, ilk sarma açısı, ilk braid açısı ve braid ipliği çapı gibi parametrelerin tüp şeklindeki braid yapının auxetic etkisi üzerinde önemli olduğu bulunmuştur. Bu araştırmada, braid iplikleri ve özlü ipliğe göre daha yüksek modüle sahip bir sargı ipliğinin kullanıldığı bir yapıda negatif Poisson oranının elde edilebileceği belirtilmiştir. Sarma açısının, ilk braid açısı ve braid ipliği çapından daha belirgin etkilere sahip olduğu belirtilmiştir. Daha düşük başlangıç sarma açısına, daha yüksek başlangıç braid açısına ve daha büyük braid ipliği çapına sahip braid iplik yapısının daha iyi auxetic performansa sahip olduğu belirtilmiştir (Jiang ve Hu, 2018).

Farklı iplik bileşenlerinden (braid iplik, sarmal katlı iplik (HPY) ve monofilament lateks iplik gibi iplik yapılarının hacimli iplik bileşeni olarak kullanıldığı) ve iplik büküm seviyelerinden oluşan yeni bir katlı iplik yapısının Poisson oranı ve ipliklerin auxetic davranışı üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada (Akgun, Eren, Suvari ve Yurdakul, 2021a), braid ve sarmal katlı iplik bileşenli katlı ipliklerde kısmi NPR görüldüğünden hacimli-hacimli iplik bileşenleri ile oluşturulan ipliklerin gerilim altında auxetic performans verebileceği belirtilmiştir.

2.3.2. Auxetic dokuma kumaş yapıları üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi

Gerilme yüklemesi altında deformasyon, kumaşların fiziksel performans davranışlarını belirlemek için kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Çeşitli konvansiyonel kumaş türlerinin Poisson oranı (PR) üzerine yapılan çalışmalarda (Shahabi, Saharkhiz ve Varkiyani, 2013; Sun, Pan ve Postle, 2005), konvansiyonel kumaşların gerilim altında yanal olarak büzülmesinden dolayı pozitif PR değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Dokuma kumaş yapıları çözgü ve atkı ipliklerinin birbirine dik yönde kesişmesi ile meydana gelen tekstil yüzeyleridir. Dokuma bir kumaşta, çözgü ve atkı ipliklerinin kesişimleri ile oluşan yer değiştirme nedeniyle hem çözgü hem de atkı iplikleri kıvrım alırlar. Kumaş bir yönde uzatıldığında (gerildiğinde), yükleme yönündeki iplikler düzleşir ve kıvrımları sıfıra ulaşıncaya kadar azalabilir. Düzleştirilmiş iplikler, yükleme yönüne dik olan diğer ipliklerin daha fazla kıvrım almasına neden olarak kumaş enine yönde büzülür ve pozitif bir PR elde edilir3,4.(Shahabi, Mousazadegan, Varkiyani ve Saharkhiz, 2014; Ng ve Hu, 2018).

Auxetic tekstiller, auxetic lifler ve iplikler kullanılarak konvansiyonel dokuma veya örme yoluyla (Wright, Burns, James, Sloan ve Evans, 2012; Vysanskav ve Vintrova, 2013; Hook, 2003), konvansiyonel elyaf ve iplikler kullanılarak özel bir geometrik konfigürasyonda dokuma veya örme yoluyla (Liu, Hu, Lam ve Liu, 2010; Hu, Wang ve Liu, 2011; Ugbolue ve diğerleri, 2010; Ugbolue ve diğerleri, 2011)ve auxetic iplik ve auxetic dokuma örgü tasarımı birleştirilerek üretilebilir (Shukla ve diğerleri, 2022; Ng ve Hu, 2018; Sloan, Wright ve Evans, 2011; Miller, Hook, Smith, Wang ve Evans, 2009).

Literatürde auxetic kumaşı geliştirmek için çözgü ve atkı ipliklerinde geleneksel ipliklerin farklı kombinasyonlarının kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca auxetic kumaş yapımında konvansiyonel ipliklerin kullanılmasının faydasının, auxetic elyaflara göre daha yüksek yapısal stabiliteye sahip olmaları olduğu belirtilmiştir (Shukla ve diğerleri, 2022). Konvansiyonel ipliklerle dokunan kumaşların kumaş yapı birimlerinin geometrik şekline bağlı olarak auxetic davranış gösterebileceği bildirilmiştir. Dokunmuş bir yapıda potansiyel olarak gerçekleştirilebilecek auxetic geometri türünden biri katlanabilir geometridir. Katlanabilir yapılar bir yönde gerildiğinde açılabilir, bu durum enine yönde boyutları arttırarak auxetic davranışın elde edilebilmesini sağlamaktadır (Zulifqar, Hua ve Hu, 2018; Cao, Zulifqar, Hua ve Hu, 2019; Akgün, Süvari, Eren ve Yurdakul, 2021).

Girişli (re-entrant) baklava deseni etkisinden dolayı dokuma pike yapıların Poisson oranının araştırıldığı bir çalışmada, pamuklu pike kumaşlarda çözgü yönünde, düşük uzama değerleri altında yüksek bir negatif Poisson oranı (NPR) elde edildiği belirtilmiştir. Girişli baklava desenini oluşturan iplik atlama uzunlukları ve ipliklerin kesişim yaptığı bölge genişliklerinin kumaşların NPR' si üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Akgun, Eren, Suvari ve Yurdakul 2021b).

Dokuma kumaş yapılarında farklı büzülme olgusunun oluşturulması, farklı çekme/büzülme özelliklerine sahip örgü kombinasyonlarının ve elastik/elastik olmayan ipliklerin kullanılmasıyla sağlanabildiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Geliştirilen auxetic dokuma kumaşlar, katlanabilir geometrik yapı temellidir. Bu geometrilerinin temel prensibi, farklı büzülme etkisidir. Elastik iplikler kumaş yapısına esneklik ve geri dönüş yeteneği sağlamak için kullanılırken, elastik olmayan iplikler stabilize edici bir bileşen olarak kullanılmaktadır (Zulifqar, Hua ve Hu, 2018; Cao, Zulifqar, Hua ve Hu, 2019; Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, 2021c).

Kısmi streç bir yapıya sahip bezayağı dokuma örgü yapısının auxetic performansının incelendiği bir çalışmada, atkı yönünde elastanlı ve elastansız ipliklerin kısmi şeritler oluşturacak şekilde art arda kullanılmasıyla, kumaş yüzeyinde düz ve buruşuk yüzey alanları meydana getirerek katlanabilir geometrik bir forma sahip yapının gerilim altında negatif Poisson oranı vererek, auxetic bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, 2021c).

Auxetic dokuma kumaşların tasarımı üzerine yapılan bir çalışmada, kumaş yapı bileşeni olarak braid yapılı ipliklerin kullanılması amaçlanmıştır. Braid iplik yapısı atkı ipliği olarak kullanılmış olup, çözgüde konvansiyonel iplik kullanılmıştır. Braid atkı ipliği kullanılarak dokunan bezayağı örgü yapısına sahip kumaşların çözgü yönlü gerilme altında belirli bir uzama değerine kadar negatif Poisson oranı (NPR) vererek auxetic bir davranış sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlardan kumaşın NPR değerinin kullanılan braid atkı ipliği kalınlığı ve kumaşın sıkılığından (kompaktlığından) etkilendiği belirtilmiştir (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, basımda-2022a).

Braid terimi, braiding makinesi üzerindeki taşıyıcılara yerleştirilen makaralardan salınan kılıf ipliklerinin birbirleri etrafında tam dönüş yapmadan, materyalin eksenine çapraz olarak birbirleri içine diyagonal olarak geçen yerleşimini ifade eder. Temel bir braid yapısı, iplik demetlerinin yarısının braid eksenine belli bir açıda saat yönünde ve diğer yarısının ilk grup demetin alternatifli olarak altından ve üstünden geçerek saat yönünün ters yönünde hareket etmesiyle dairesel bir formda oluşmaktadır (Douglas, 1964; Ko, Pastore ve Head, 1989; Yee, 1985; Karaca,1999).

Kord örgü yapılarının auxetic dokuma kumaş tasarımları üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, uzun iplik yüzmelerinin daha baskın olduğu kord dokuma (çözgü kord dokuma) yapılarının, çözgü yönünde auxetic bir performans gösterebileceği belirtilmiş ve ayrıca kalın atkı ipliği kullanılması durumunda kumaşın auxetic performansının daha uzun uzama değerleri altında devam ettiği belirtilmiştir. Kord örgü desen tasarımlarında, uzun iplik atlama (yüzme) bölgeleri arasına yerleştirilen bire-bir iplik bağlantı bölgelerinin yoğunluğunun kumaşın auxetic performansını etkilediği görülmüştür (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, 2022b).

Bu tez çalışmasında, hacimli iplik yapıları (braid iplik, sarmal katlı iplik, lateks yapı) kullanılarak maksimum iplik bağlantısına sahip bezayağı ve uzun iplik atlamalı örgü yapısında dokunan kumaşların auxetic performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan ipliklerin özellikleri

Bu tez çalışmasında, braid, sarmal katlı ve lateks gibi hacimli ve yumuşak özelliklere sahip ipliklerden oluşan dokuma kumaş yapılarındaki auxetic performanslarının araştırılması amaçlanmıştır.

Literatürde ipliklerin auxetic performansları üzerine yapılan bir araştırmada (Akgun, Eren, Suvari ve Yurdakul, 2021a), braid ve sarmal katlı iplik bileşenli katlı ipliklerde kısmi NPR görüldüğünden hacimli-hacimli iplik bileşenleriyle oluşturulan ipliklerin gerilim altında auxetic performans verebileceği belirtilmiştir.

Auxetic özelliğe sahip dokuma kumaş yapılarının elde edilmesi amacıyla çalışmada farklı yapısal özelliklere sahip ipliklerle (braid iplik, sarmal katlı iplik, lateks) kumaş dokumaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ipliklerin yapısal özellikleri Çizelge 3.1' de sunulmuştur.

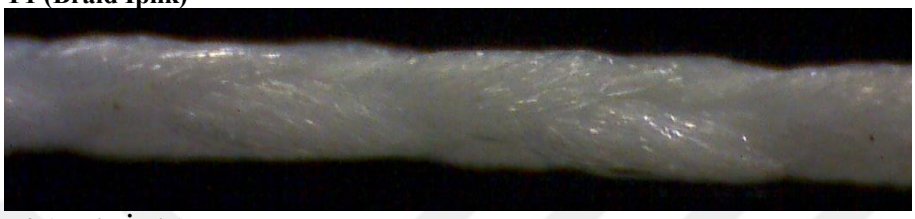
Çizelge 3.1. İpliklerin yapısal özelikleri

İplik Kodu	İplik Türü	İplik İçeriği (Bileşen iplik özellikleri)	İplik Numarası (Denye)
Y1	Braid (8'li)	8'li braid poliester iplik (4 x 300/10 denye/filament teksture poliester + 4 x 85/36 denye/filament HT poliester)	1619
Y2	Braid (8'li)	8'li braid poliester iplik (4 x 300/96 denye/filament teksture poliester + 4 x 85/36 denye/filament HT poliester)	1748
Y3	Sarmal Katlı (8'li)	8 Katlı bükümlü (70 Tur/m) poliester (8 x 300/96 denye/filament teksture poliester)	2757
Y4	Sarmal Katlı (8'li)	8 Katlı bükümlü (70 Tur/m) poliester (4 x 300/96 denye/filament teksture poliester + 4 x 85/36 denye/filament HT poliester)	1615
Y5	Lateks	Monofilament Lateks	2250
Y6	Braid (8'li)	8'li braid poliester iplik (4 x 300/72 denye/filament teksture poliester + 4 x 85/36 denye/filament HT poliester)	1740

İpliklerin (Çizelge 3.1) mikroskop (INSIZE ISM-PRO) altında alınan görüntüleri (X80 kat büyütme oranında) Şekil 3.1’ de sunulmuştur.



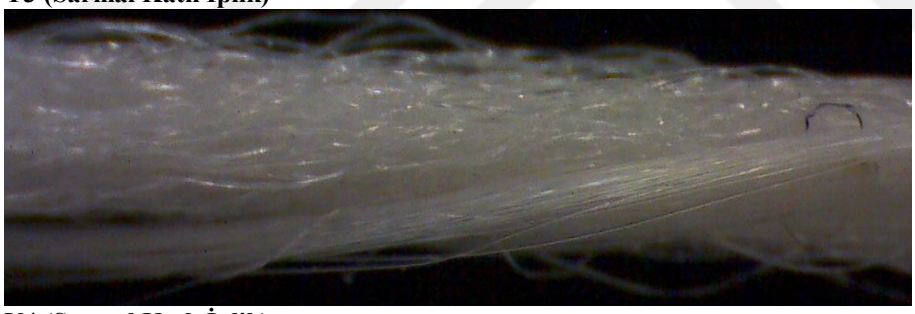
Y1 (Braid İplik)



Y2 (Braid İplik)



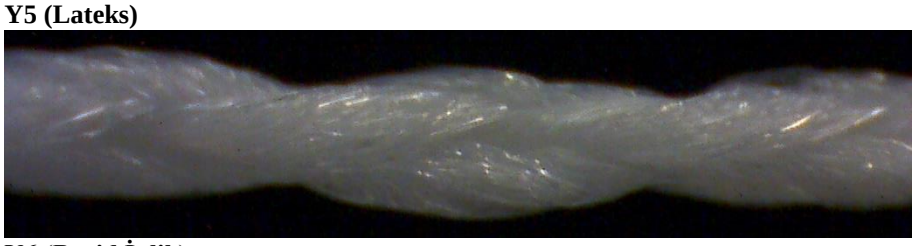
Y3 (Sarmal Katlı İplik)



Y4 (Sarmal Katlı İplik)



Y5 (Lateks)



Y6 (Braid İplik)

Şekil 3.1. İplik mikroskop görüntüleri

Braid iplik olarak 8’ li (8 taşıyıcılı; 8 adet kılıf ipliği bileşeninden oluşan) braid iplikler üretilmiştir (Kord Endüstriyel İp ve İplik Sanayi ve Ticaret A.Ş). Braid iplikler teksture poliester ve HT poliester iplikler 1:1 düzeninde birleştirilerek (taşıyıcıya 1:1 düzende takılarak) braid iplik yapıları oluşturulmuş olup, filament sayılarının da etkisinin değerlendirilmesi amacıyla 300/10 ve 300/96 denye/filament teksture poliester iplikler bileşen iplik olarak kullanılmıştır. Sarmal katlı iplikler (HPY), 8 katlı olarak 70 Tur/m büküm verilerek üretilmiştir (BOYTEKS).

Braid ve sarmal katlı iplikler, teksture poliester iplik ile HT poliester (yüksek mukavemetli) bileşenli ipliklerin birleşimiyle üretilmiştir. Çalışmada, hacimli (teksture poliester) ve sert (HT poliester) iplik bileşenlerinin yapıyı oluşturması ve dolayısıyla gerilim altında yapıdaki sert iplik bileşenlerinin hacimli iplik bileşenlerine baskı uygulayarak, braid ve sarmal katlı ipliklere kumaş yapısı içinde muhtemel bir enine genişleme etkisi sağlayarak auxetic performansa katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Monofilament lateks, dokumada atkı ipliği olarak kullanılmış olup, dokuma kumaşı oluşturan bir iplik bileşeni olarak kullanılması durumunda kumaşa verebileceği auxetic etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3.1.2. Çalışmada kullanılan dokuma kumaşların özellikleri

Deneysel çalışmada üretilen kumaşlar A, B ve C grubu olarak gruplandırılmıştır. A ve B grubu kumaşların dokuma işlemi Bursa Uludağ Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Dokuma Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. El dokuma tezgâhı (Gülas Makina) Şekil 3.2’ de sunulmuştur.

Dokuma işlemi, 4 adet çerçeve (her bir çerçevede 60 çözgü teli olmak üzere; 4x60: 240 tel) desen örgüsünün oluşumunda, 2 adet çerçeve kenar (8+8: 16 tel) oluşumunda kullanılmak üzere toplam 6 adet çerçeveyle gerçekleştirilmiştir.



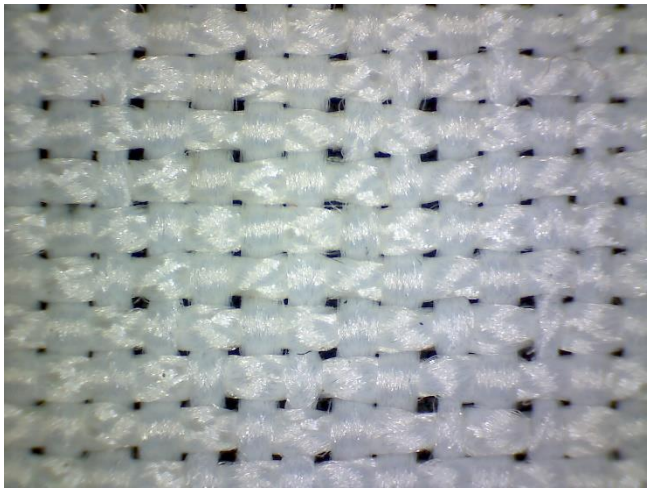
Şekil 3.2. Dokuma tezgâhı ve dokunan numune kumaş görüntüsü

Bezayağı örgü yapısında dokunan A grubu kumaşların yapısal özellikleri Çizelge 3.2' de ve mikroskop (INSIZE ISM-PRO) altında alınan görüntüleri (50 kat büyütme oranı) Şekil 3.3-3.8' de sunulmuştur.

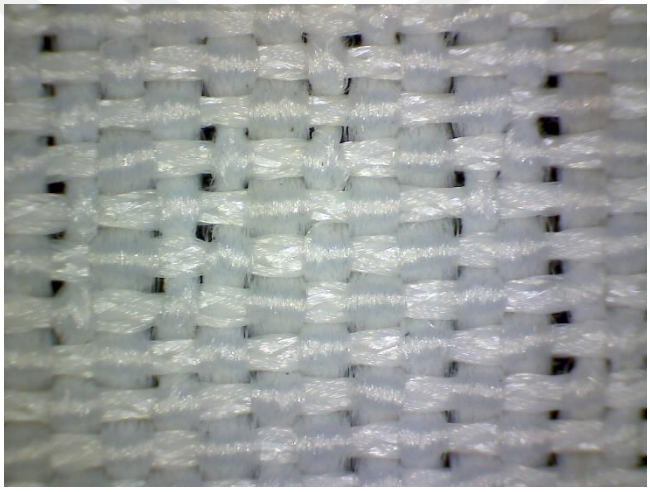
A grubu kumaşlarda çözgü ipliği olarak, 600 denye (2 x 300/97 denye/filament) poliester puntalı teksture iplikler kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. A grubu kumaşların yapısal özellikleri

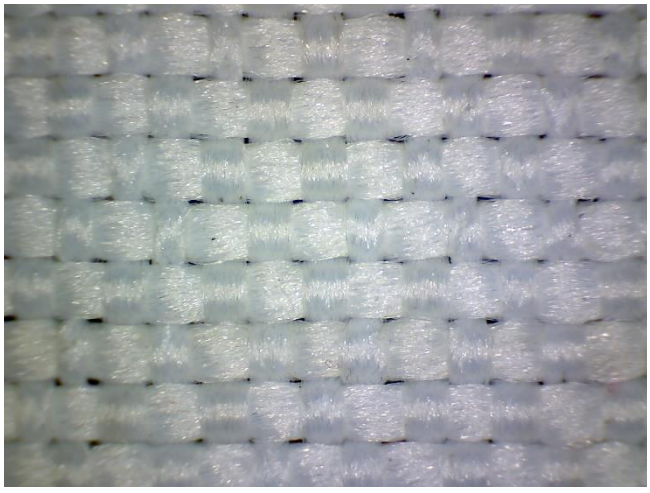
Kumaş Kodu	Atkı İpliği Kodu	Kumaş Sıklığı (iplik/cm)		Kumaş Kalınlığı (mm) (10 g/cm^2)	Kumaş Gramajı (g/m^2)
		Çözgü	Atkı		
A1	Y1	13	12	0,72	330
A2	Y2	13	12	0,91	382
A3	Y3	13	10	0,98	399
A4	Y4	13	12	0,68	345
A5	2 x Y5 + 2x600 denye (2+2 düzeninde)	21	16	1,75	415
A6	2 x Y5 + 10x600 denye (2+10 düzeninde)	15	16	1,14	267



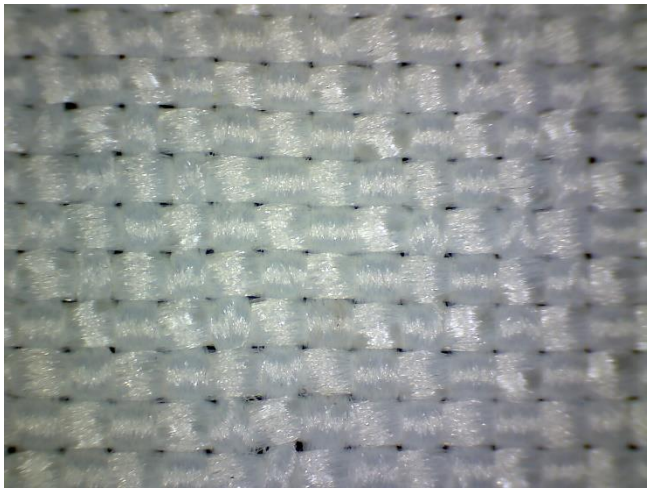
Şekil 3.3. A1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



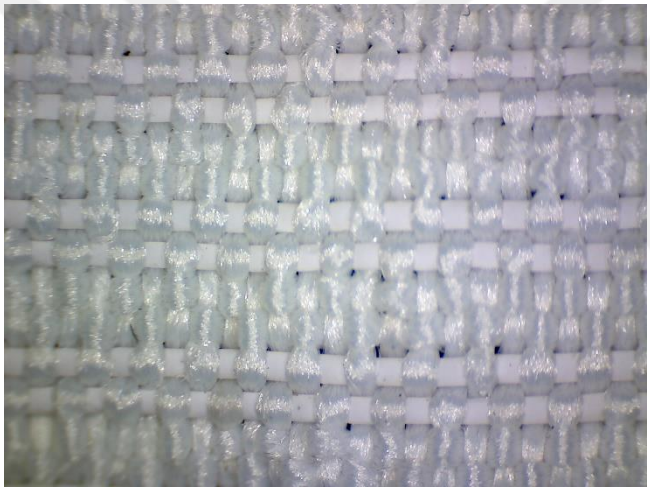
Şekil 3.4. A2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



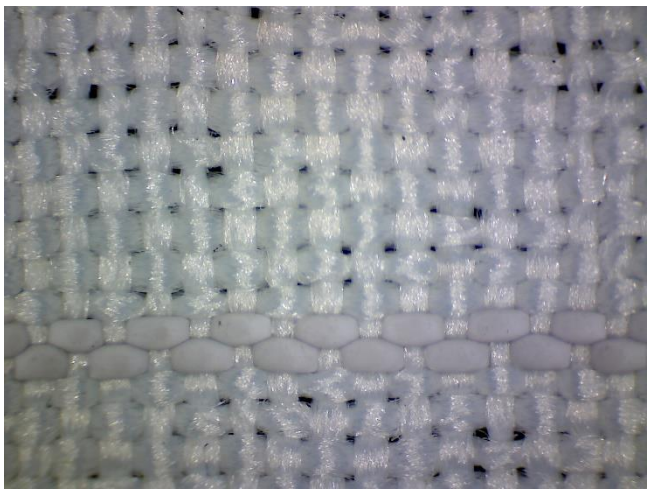
Şekil 3.5. A3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.6. A4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.7. A5 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)

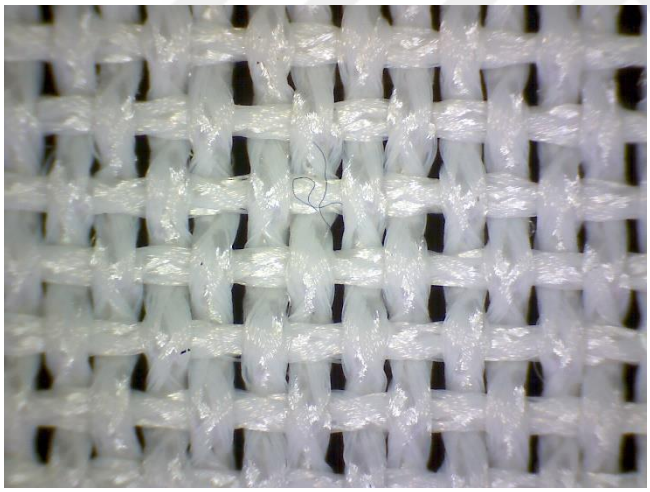


Şekil 3.8. A6 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme

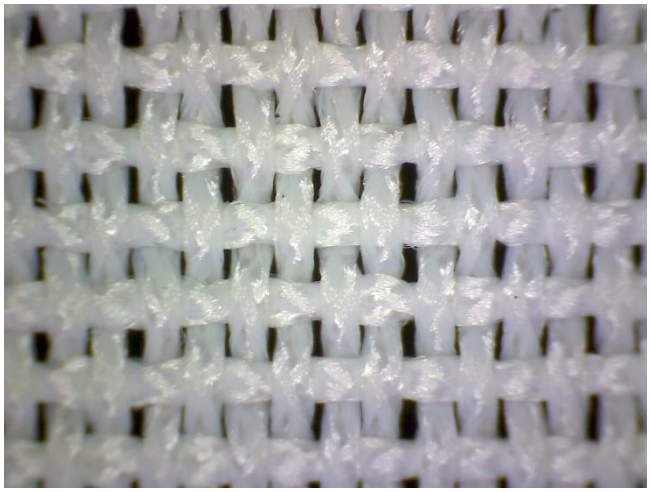
Bezayağı örgü yapısında dokunan B grubu kumaşların yapısal özellikleri Çizelge 3.3' de ve mikroskop (INSIZE ISM-PRO) altında alınan görüntüleri (50 kat büyütme oranı Şekil 3.9-3.13' de sunulmuştur. B grubu kumaşlarda çözgü ipliği olarak, braid poliester iplikler kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. B grubu kumaşların yapısal özellikleri

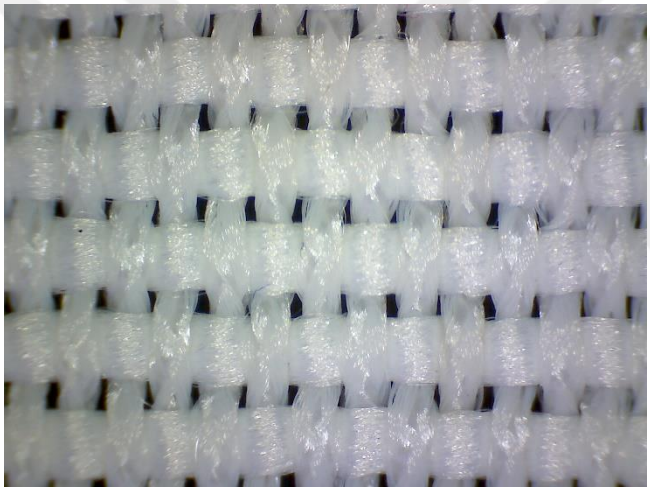
Kumaş Kodu	Çözgü İpliği	Atkı İpliği Kodu	Kumaş Sıklığı (iplik/cm)		Kumaş Kalınlığı (mm) (10 g/cm^2)	Kumaş Gramajı (g/m^2)
			Çözgü	Atkı		
B1	Y1	Y1	12	8	1,05	400,00
B2	Y1	Y2	12	8	1,05	408,12
B3	Y1	Y3	12	7	1,13	417,5
B4	Y1	2 x Y5 + 2 x Y1 (2+2 düzeninde)	12	12	1,33	452,5
B5	Y6	Y5 + Y6 (1+1 düzeninde)	12	30	1,93	891,25
B6	Y6	Y5 + Y3 (1+1 düzeninde)	12	24	2,26	857,5



Şekil 3.9. B1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



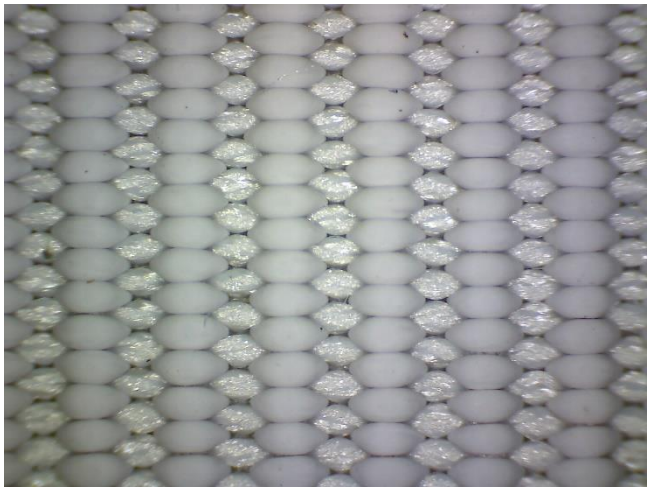
Şekil 3.10. B2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



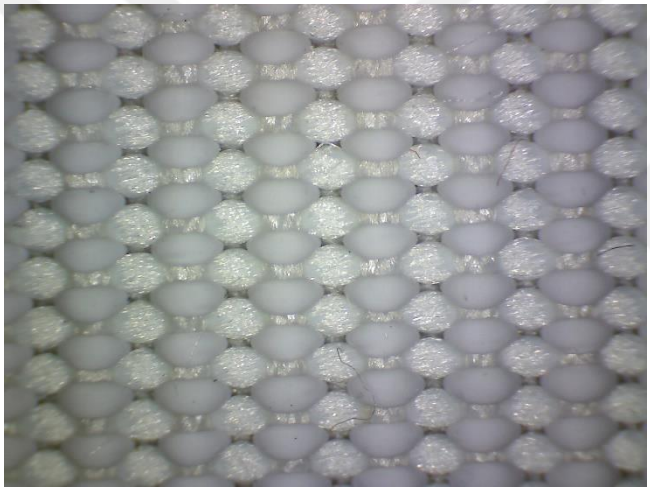
Şekil 3.11. B3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.12. B4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)

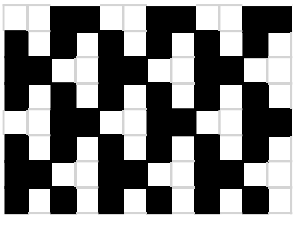


Şekil 3.13. B5 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.14. B6 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)

C grubu kumaşlar uzun iplik atlamalarına (yüzmelerine) sahip örgü yapısında (Şekil 3.15) dokunmuş dar dokuma yapılı kumaşlardır. C grubu dar dokuma yapılar, OMM marka dar dokuma makinesinde üretilmiştir (Bağcı Elyaf ve Konfeksiyon Malzemeleri Ltd.).



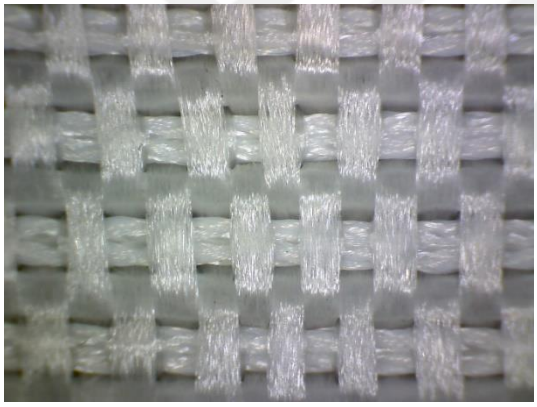
Şekil 3.15. C grubu kumaş örgüsünün şematik gösterimi

İpliklerin maksimum kesişim yaptığı bire-bir bağlantı yapan bezayağı örgü yapısına sahip A ve B gruplarından farklı olarak, C grubu kumaşlar ipliklerin yapı içinde uzun atlamalar (yüzmeler) yaptığı bir örgü yapısında dokunmuştur.

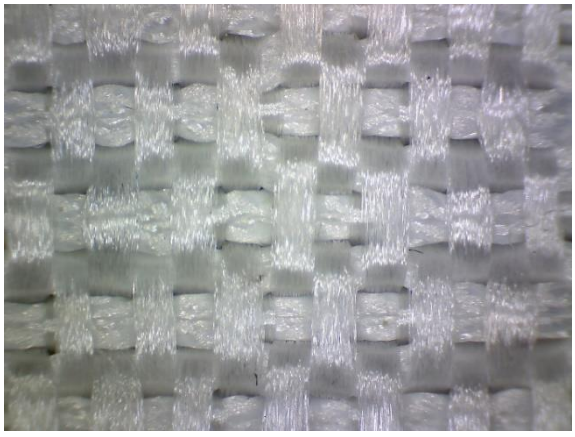
C grubu kumaşların yapısal özellikleri Çizelge 3.4' de ve mikroskop (INSIZE ISM-PRO) altında alınan görüntüleri (50 kat büyütme oranı) Şekil 3.16-3.19' da sunulmuştur. C grubu kumaşlarda çözgü ipliği olarak, 720 denye polipropilen iplikler kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. C grubu kumaşların yapısal özellikleri

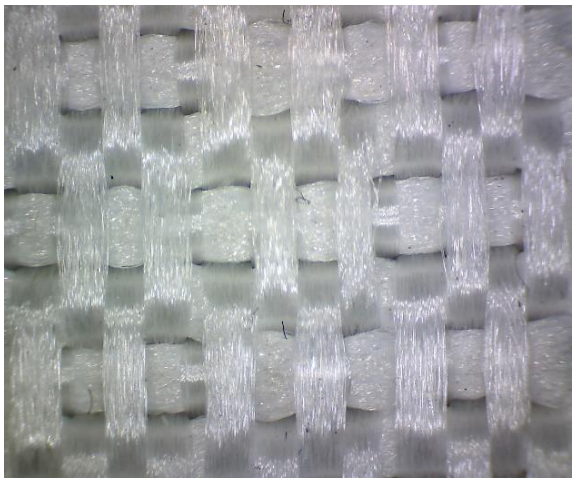
Kumaş Kodu	Atkı İpliği Kodu	Kumaş Sıklığı (iplik/cm)		Kumaş Kalınlığı (mm) (10 g/cm^2)	Kumaş Gramajı (g/m^2)
		Çözgü	Atkı		
C1	Y1	7	10	1,47	521,11
C2	Y2	7	8	1,54	483,33
C3	Y3	7	8	1,76	648,89
C4	Y4	7	10	1,57	550,00



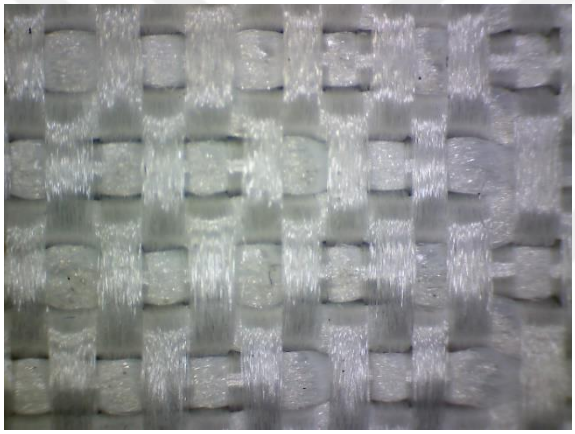
Şekil 3.16. C1 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.17. C2 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



Şekil 3.18. C3 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)



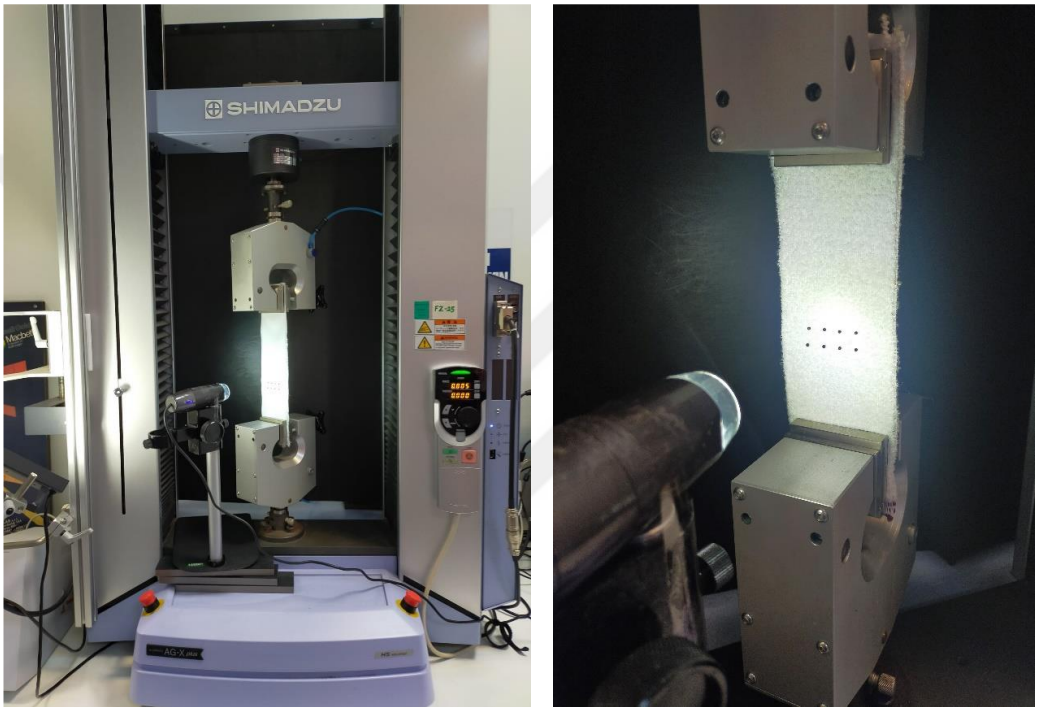
Şekil 3.19. C4 kumaşı mikroskop görüntüsü (50 kat büyütme)

3.2. Yöntem

3.2.1. Kumaş çekme testi

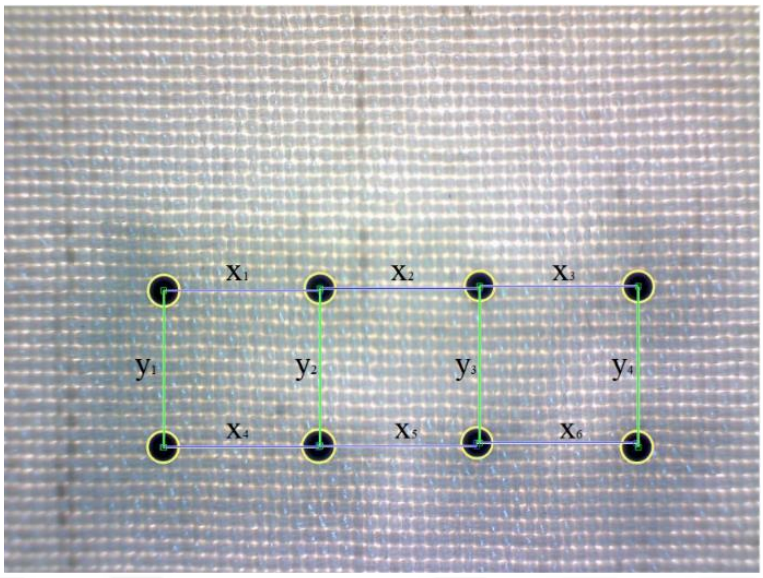
Kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi amacıyla, kumaşların Poisson oranların hesaplanması için kumaşlar çözgü ve atkı yönleri doğrultusunda Shimadzu AG-X plus mukavemet test cihazında, ISO 13934-1 (2013) standart test metoduna göre çekme işlemine tabi tutulmuştur. Kumaş numuneleri çözgü yönünde 50 mm x150 mm, atkı yönünde 50 mm x100 mm boyutlarında çekme cihazı çeneleri arasına yerleştirilmiş, 10 mm/dk hızla çekme testi uygulanmıştır. Kumaşlara 0.83 mm' lik bir ön gerilim uygulanmıştır.

Dokuma kumaşların kuvvet altında şekil değişikliklerinin belirli saniyelerde kaydedilmesi için bilgisayara bağlantısı yapılmış, optik yakınlaşma kabiliyeti olan kamera kullanılmıştır. Kamera kumaşa 14 cm mesafede pozisyonlanacak şekilde sabitlenmiştir. Dijital mikroskobik kamera vasıtasıyla (INSIZE ISM-PRO) 5 saniye aralıklarla (veya her 0.83 mm' lik uzamada) 30 mm uzama boyunca (180 sn boyunca) 10 kat büyütme oranı uygulanarak fotoğraf görüntüleri (1600 x 1200 piksel çözünürlükte) alınmıştır. Ölçüm test düzeneği Şekil 3.20' de sunulmuştur.



Şekil 3.20. Test düzeneği ve kumaş üzerindeki işaretleyiciler

Kumaşların (A ve B grubu kumaşlar) Poisson oranlarının hesaplanması, kumaşların gerilim altında en ve boy değişimleri MATLAB yazılımı yardımıyla geliştirilen bir yöntem (Suvari, Akgun, Eren, Yurdakul; 2021) kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde, kumaş üzerine işaretleyiciler (iğne) yerleştirilerek (Şekil 3.20), gerilim uygulanan kumaştaki en ve boy değişimleri işaretleyiciler yardımıyla MATLAB yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. İşaretleyiciler test öncesi kumaş üzerine 1cm' lik aralıklarla, x ve y eksenleri doğrultusunda hizalanarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Kumaş numunesi (A4 kumaşı) üzerindeki işaretleyicilerin yerleşimi

Kumaş üzerine yerleştirilen işaretleyiciler yardımıyla (Şekil 3.21), enine ve boyuna kumaş yönlerindeki gerilmeleri hesaplamak için serbest ve gerilim altındaki (farklı uzama değerleri altındaki) kumaştan her 5 saniyede bir alınan görüntüler üzerinden MATLAB' da geliştirilen yazılım (Suvari, Akgun, Eren, Yurdakul, 2021) yardımıyla, kumaşın en (x değerlerinin ortalaması) ve boy (y değerlerinin ortalamasının) değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama değerlerden kumaşların Poisson oranı (ν), Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır (Uzun; 2010);

$$\nu = - (\mathcal{E}_E / \mathcal{E}_B) \tag{3.1}$$

$$\mathcal{E} = \Delta L / L \tag{3.2}$$

Eşitlikte;

ν; Poisson Oranı

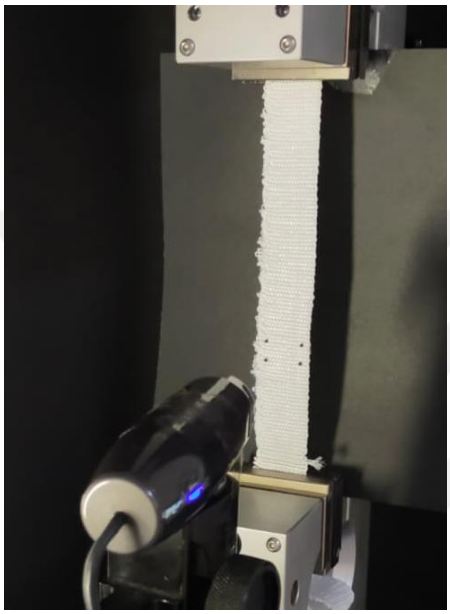
$\mathcal{E}_E$; Enine Şekil Değiştirme

$\mathcal{E}_B$; Boyuna Şekil Değiştirme

ΔL; Uzunluk Değişimi

L; İlk Uzunluk

Şekil 3.22’ de, C grubu kumaşların ölçüm düzeneği ve kumaş üzerindeki işaretleyiciler gösterilmiştir. C grubu kumaşlar dar dokuma yapılı olup, çeneler arası mesafe 150 mm ve numune boyutu 30x150 mm olarak çeneler arasına yerleştirilmiştir. Kumaş üzerindeki işaretleyiciler arasındaki enine ve boyuna yöndeki değişiklikler ImageJ programı kullanılarak ölçülmüş ve kumaşların Poisson oranı (v), Denklem (3.1) (Uzun; 2010) kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.22. C grubu kumaşların ölçüm düzeneği ve kumaş üzerindeki işaretleyiciler

3.2.2. Kumaş kalınlığı ve gramajı

Kumaşların gramajı ASTM D3776 (ASTM D3776. 2011) ve kalınlığı, James Heal'in R&B Kumaş kalınlık test cihazı ile ASTM D1777-96 (ASTM D1777-96. 2007) standardına göre ölçülmüştür.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. A Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi

A grubu kumaşlar, atkı ipliği olarak braid (Y1 ve Y2), sarmal katlı iplikler (Y3 ve Y4) ve lateks yapı bileşeni (farklı yerleşim oranlarında) kullanılarak, çözgü ipliği olarak konvansiyonel yapılı çözgü iplikleri kullanılarak (600 denye) dokunmuş ve auxetic performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

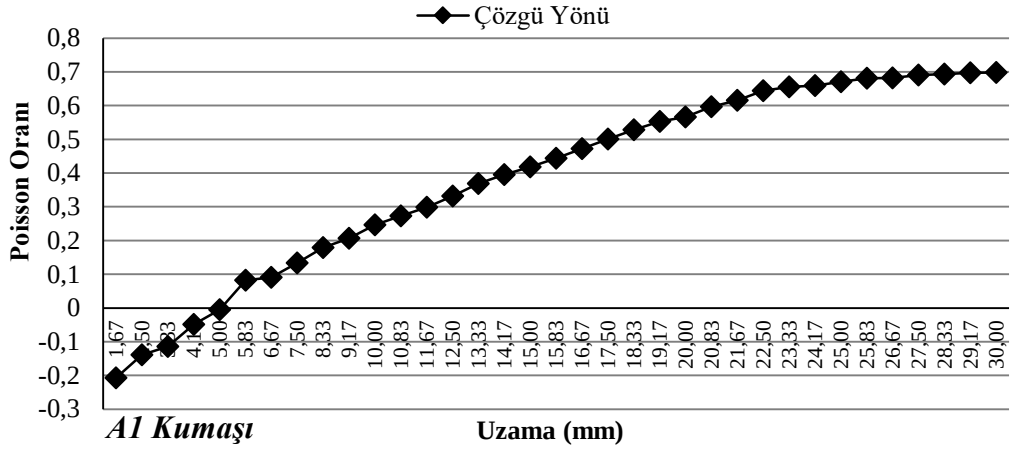
4.1.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Braid iplik yapıları kullanılarak dokunan dokuma kumaşların auxetic etkisinin incelenmesi amacıyla, atkı ipliklerinde braid yapılı iplikler kullanılarak dokunan bezayağı örgü yapısına sahip kumaşların (A1 ve A2) çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.1-4.2 ve Şekil 4.4-4.5).

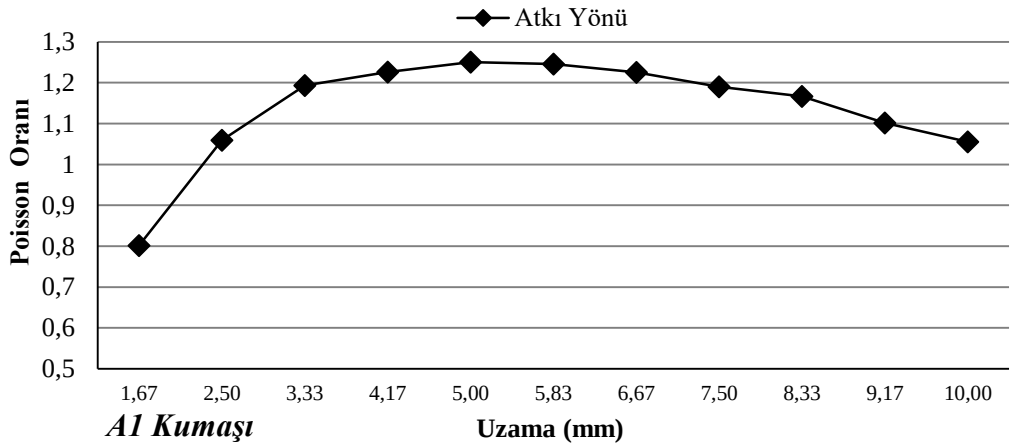
Çalışmada incelenen A1 ve A2 kodlu kumaşların atkı iplikleri braid yapılı olup, çözgü ipliklerinde konvansiyonel iplik yapıları (600 denye poliester) kullanılmıştır (Çizelge 3.2). Braid iplikleri oluşturan bileşenlerin de kumaşların auxetic performansına olan etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla A1 kumaşı Y1 kodlu braid iplik (300/10 denye/filament iplik bileşenleriyle), A2 kumaşı Y2 kodlu braid iplik (300/96 denye/filament iplik bileşenleriyle) yapıları kullanılarak dokunmuştur.

Şekil 4.1' de, A1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A1 kumaşının (300/10 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 5 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama altında) ≈ - 0,2 olarak elde edilmiştir.

Kumaşa uygulanan uzama arttırıldıkça (5 mm üzerine çıkıldıkça) kumaşın pozitif Poisson oranı değeri verdiği ve uzama arttırıldıkça Poissson oranının pozitif yönde arttığı görülmüştür. 30 mm uzama altında, kumaşın Poisson oranının en yüksek ≈ +0,7 değerinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.1. A1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

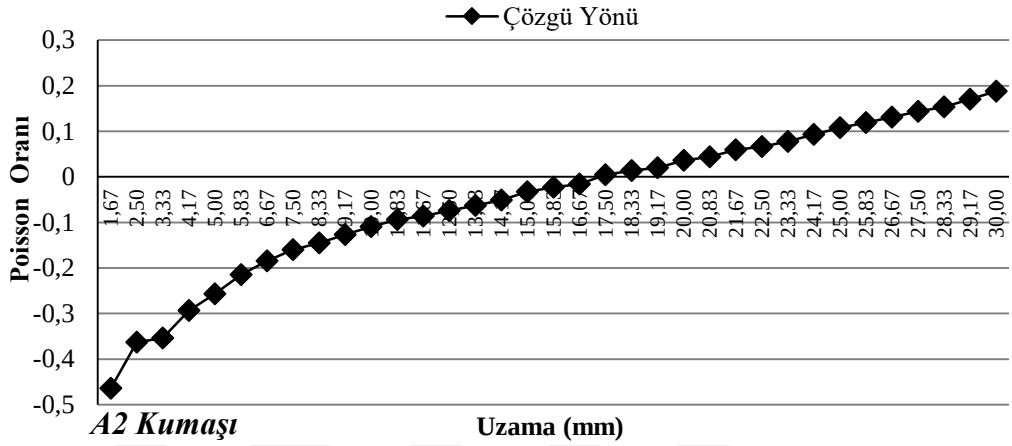


Şekil 4.2. A1 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.2' de, A1 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A1 kumaşının atkı yönünde NPR etkisi göstermediği, gerilim altında pozitif Poisson oranı değerleri verdiği görülmüştür. 10 mm uzama altında, atkı yönünde en yüksek ≈ +1.25 değerinde pozitif Poisson değeri elde edilmiştir.

Şekil 4.2' deki atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde, gerilim artışıyla Poisson oranının pozitif yönde giderek arttığı ve gerilim arttırılmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranının giderek azaldığı görülmektedir. Literatürde (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017), kumaş Poisson oranı değerinin yüksek uzamalarda giderek azalması beklendiği belirtilmiştir. Belirli bir aşamadan sonra kumaş uzamaya devam ettikçe, kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi

nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişim artmaya devam eder. Sonuç olarak, kumaşa uygulanan uzama arttıkça kumaşın Poisson oranı değerlerinin belirli bir aşamadan sonra düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. A2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.3' de, A2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A2 kumaşının (300/96 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 16,67 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama altında) ≈ - 0,46 olarak elde edilmiştir.

Braid atkı iplikleriyle dokunan A1 ve A2 kumaşının çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, 300/96 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan A2 kumaşının, 300/10 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan A1 kumaşına göre daha yüksek NPR değeri verdiği ve bu NPR etkisinin yüksek uzama değerleri altında da (A1 kumaşına göre) devam ettiği görülmüştür.

A1 kumaşında başlangıç gerilim değeri altında Poisson oranı en yüksek ≈ -0,2 değeri elde edilirken, A2 kumaşında ≈ -0,46 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, A2 kumaşında (16,67 mm) A1 kumaşına (5 mm) göre ≈ 3,33 kat daha yüksek uzama değerleri altında NPR etkisinin devam ettiği görülmüştür.

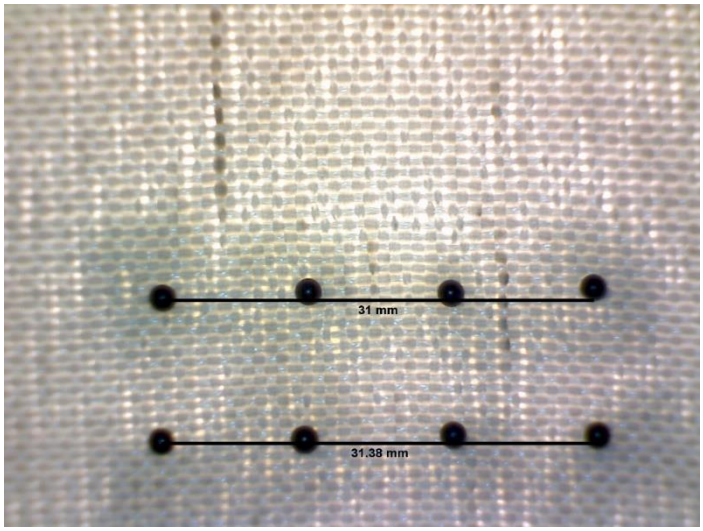
Elde edilen bu sonuç, braid ipliği oluşturan iplik bileşenini oluşturan filament sayılarının, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir. 300/10 denye/filament iplik bileşenli braid iplik (Y1) ve 300/96 denye/filament iplik bileşenli braid iplik (Y2) yapıları incelendiğinde, filament sayısı yüksek olan Y2 ipliğin daha yumuşak ve hacimli bir yapı sergilerken, Y1 ipliğinin daha sert bir yapıda olduğu görülmektedir (Şekil 3.1).

Ayrıca, Y1 ve Y2 ipliklerini oluşturan bileşen ipliklerin fialment sayılarının iplik hacimliliğine ve dolayısıyla kumaş kalınlığına olan etkileri değerlendirildiğinde, Çizelge 3.2' den filament sayısı yüksek olan Y2 (daha yumuşak ve hacimli bir iplik yapısına sahip) ipliğiyle dokunan A2 kumaşının 0,91 mm kumaş kalınlık değeri, filament sayısı az olan Y1 (daha sert bir yapıya sahip) ipliğiyle dokunan A1 kumaşının 0,72 mm kumaş kalınlık değeri verdiği görülmektedir. Braid ipliği oluşturan bileşenlerin özelliklerinin (fialment sayısı gibi) ve dolayısıyla ipliğin tutum özelliklerinin (sertlik, yumuşaklık, hacimlilik vb.) kumaşın auxetic performansını etkileyebileceği gözlemlenmiştir.

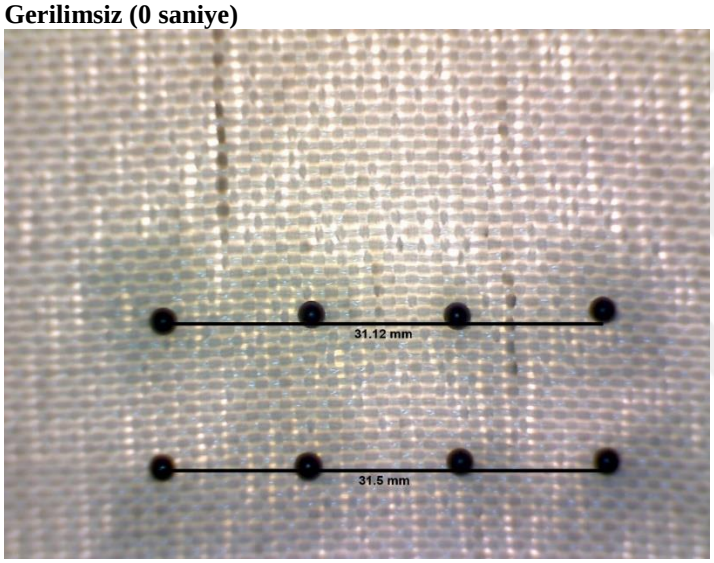
A2 kumaşında NPR etkisi meydana getiren enine yöndeki genişlemeyi göstermek amacıyla, çözgü yönlü gerilim altında kumaşın enine genişlemesi, kumaş fotoğrafları üzerinden farklı saniyelerde (0-180 saniye arasındaki) alınan görseller üzerinden ImageJ yardımıyla yapılan ölçümler Şekil 4.4' de sunulmuştur. Şekil 4.4' de, kumaşın enine genişleme etkisini görsel olarak göstermek amacıyla kumaşa yerleştirilen ilk ve son işaretleyiciler arasındaki mesafeler ölçülmüştür.

Çalışma kapsamında sunulan Poisson oranı – uzama eğrilerindeki Poisson oranlarının hesaplanmasında, Şekil 3.21' de gösterildiği üzere MATLAB yardımı ile her bir işaretleyici arasındaki mesafeler arasındaki ölçümlerden alınan ortalama değerler kullanılarak nihai değerlendirmeler yapılmıştır.

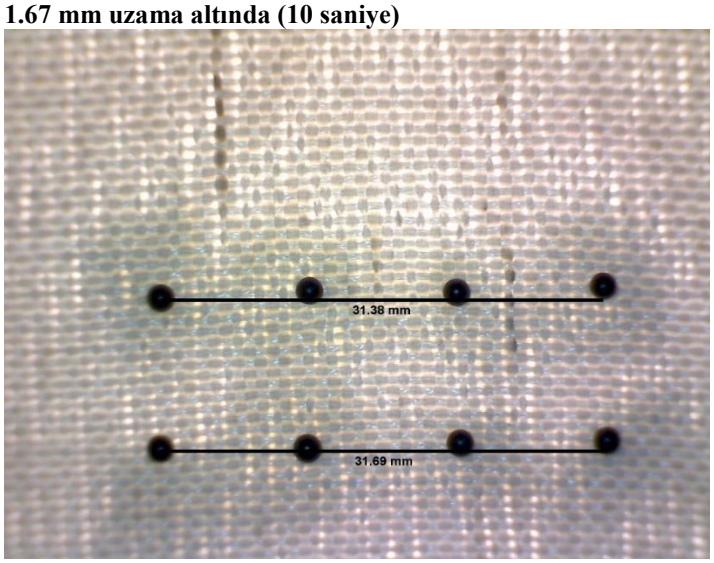
Şekil 4.4' de, kumaşta meydana gelen enine yöndeki genişlemeyi (16,67 mm (100 saniye) uzamaya kadar genişleme, sonrası uzama değerlerinde ise daralma (Şekil 4.3)) göstermek amacıyla, kumaş fotoğrafları üzerinden ImageJ yardımıyla yapılan ölçümler sunulmuştur.



Gerilimsiz (0 saniye)

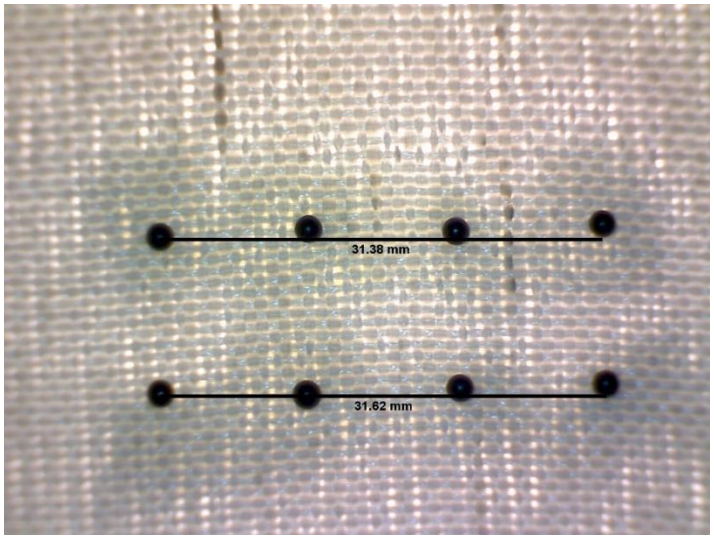


1.67 mm uzama altında (10 saniye)

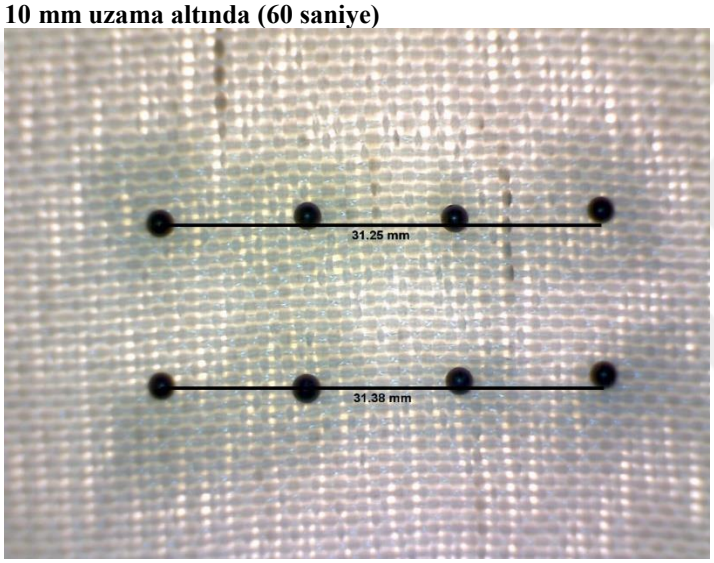


5.00 mm uzama altında (30 saniye)

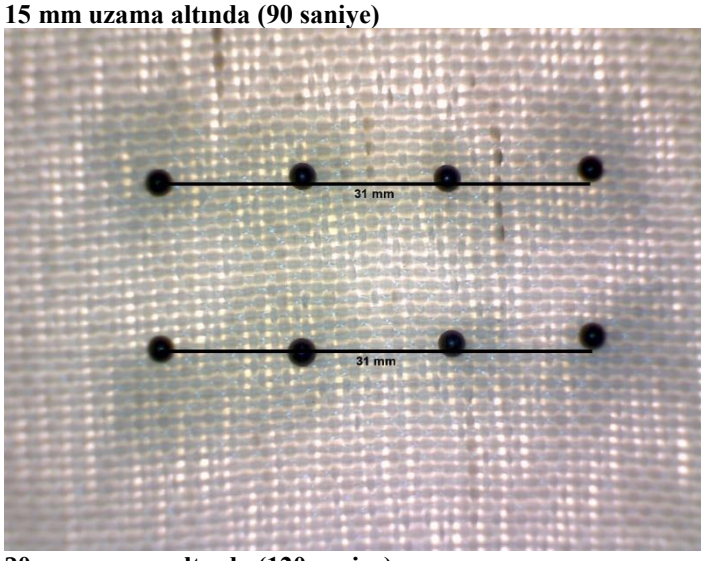
Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri



10 mm uzama altında (60 saniye)

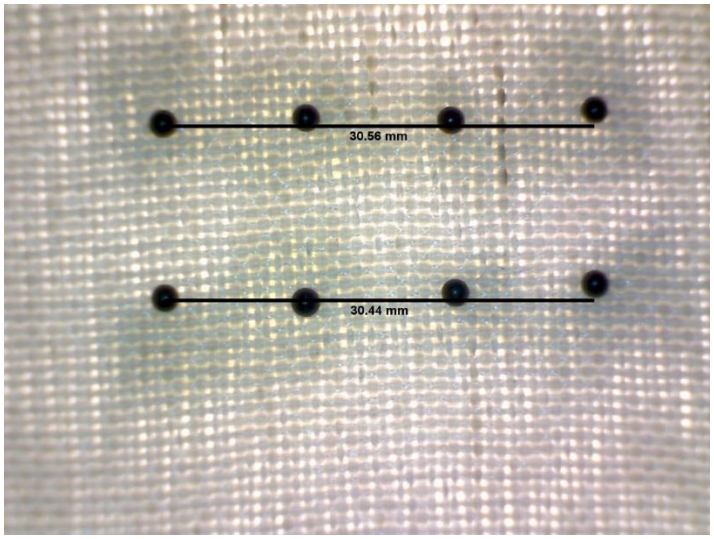


15 mm uzama altında (90 saniye)

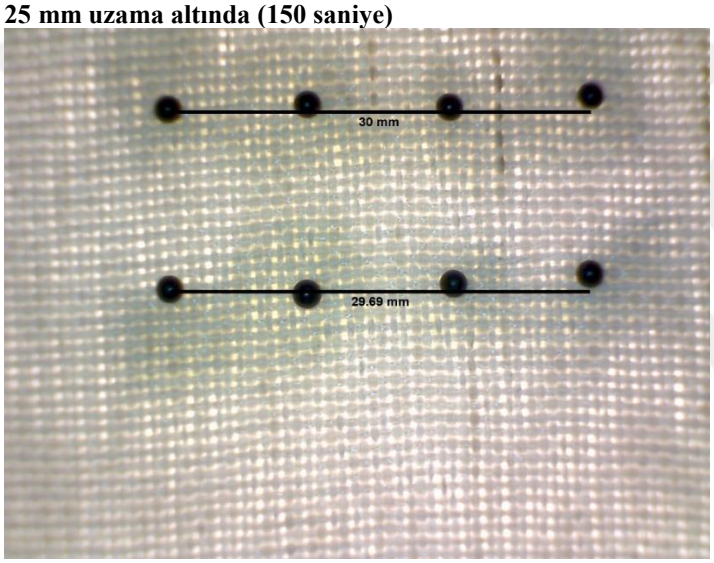


20 mm uzama altında (120 saniye)

Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-1)



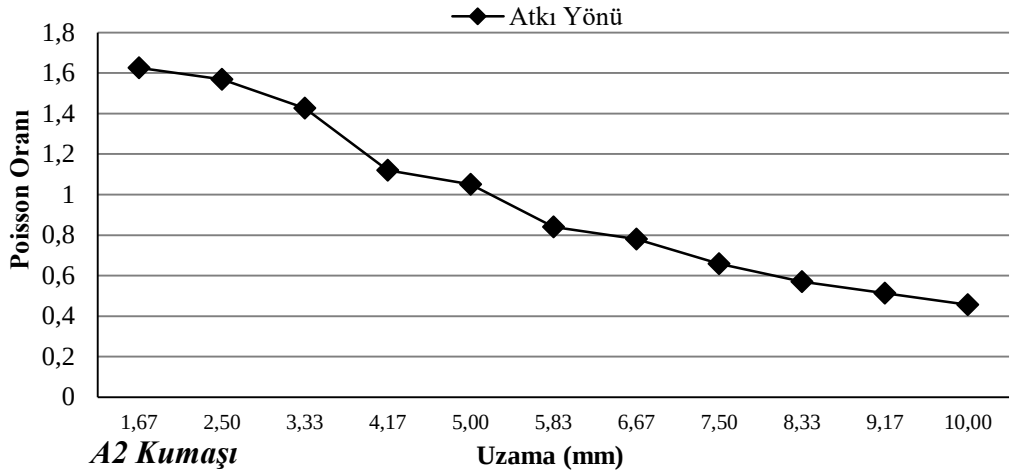
25 mm uzama altında (150 saniye)



30 mm uzama altında (180 saniye)

Şekil 4.4. A2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-2)

Şekil 4.5' de, A2 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A2 kumaşının atkı yönünde NPR etkisi göstermediği, gerilim altında pozitif Poisson oranı değerleri verdiği görülmüştür. 10 mm uzama altında, atkı yönünde en yüksek ≈ +1,62 değerinde pozitif Poisson değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.5. A2 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

A2 kumaşının Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde (Şekil 4.5), başlangıç uzama altında (1,67 mm) en yüksek pozitif Poisson oranı değeri (≈+1,62) verdiği ve uzama arttıkça Poisson oranı değerinin düştüğü görülmüştür. A2 kumaşında gözlenen bu durumun, kumaşın atkı yönlü gerilimi altında (kumaştaki braid atkı ipliklerine (Y2) uygulanan gerilim altında), gerilim arttıkça kumaşta enine yönde daralma miktarındaki azalma etkisinden (literatürde de belirtildiği üzere (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017), kumaşa uygulanan gerilim nedeniyle kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişim artmaya devam etmesi sebebiyle) kaynaklandığı düşünülmektedir.

A1 kumaşında ise (Şekil 4.2), kumaşın atkı yönlü Poisson oranı – uzama değişimi incelendiğinde, gerilim arttıkça Poisson oranının pozitif yönde arttığı ve belirli bir uzama değerinden sonra yukarıda açıklandığı sebepten dolayı (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017) azalmaya başladığı görülmüştür.

A1 kumaşında gözlenen gerilim arttıkça Poisson oranının belirli bir değere kadar pozitif yönde arttığı bu durumun, kumaşın atkı yönlü gerilimi altında (kumaştaki braid atkı ipliklerine (Y1) uygulanan gerilim altında), gerilim arttıkça kumaşta enine yöndeki daralma miktarındaki artış etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

A1 (Şekil 4.2) ve A2 (Şekil 4.5) kumaşlarının atkı yönlü gerilim durumunda Poisson oranı – uzama değişimlerinin eğilimlerinde gözlemlenen bu farklılığın, kumaşları oluşturan braid iplik yapılarının özelliklerinden (iplik kalınlığı veya iplik bileşenlerini oluşturan ipliklerin filament sayılarından vb.) etkilendiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, Y1 braid ipliklerle (1619 denye ve daha sert yapılı) dokunan kumaşın atkı yönlü gerilim altında (kumaştaki atkı ipliklerine uygulanan gerilim altında) kumaştaki en değişiminin daha yüksek değerlerde meydana geldiğini, Y2 braid yapılı ipliklerle (1748 denye ve daha yımuşak / hacimli) dokunan kumaşta ise atkı yönlü gerilim altında kumaştaki enindeki değişim miktarının daha az meydana geldiğini göstermiştir.

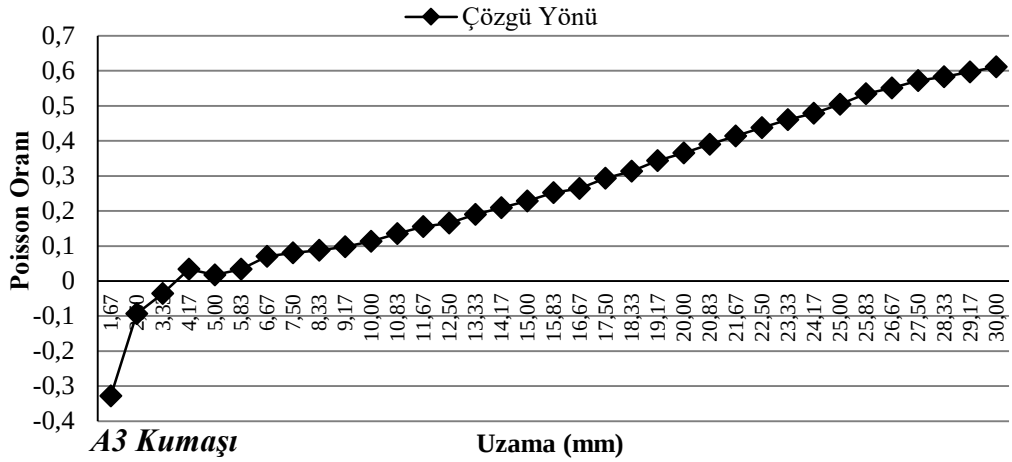
Braid atkı iplikleriyle dokunan A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirildiği bu bölümde, atkıda braid yapılı ve çözgüde konvansiyonel yapılı ipliklerle dokunan bezayağı örgü yapılı kumaşlarda, çözgü yönlü gerilim altında kumaşların NPR etkisi göstererek, auxetic bir yapı gösterdikleri görülmüştür. Elde edilen NPR etkisinin, braid ipliği oluşturan bileşen ipliklerin filament sayılarından etkilendiği gözlemlenmiştir.

4.1.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Sarmal katlı (HPY) iplik yapıları kullanılarak dokunan dokuma kumaşların auxetic etkisinin incelenmesi amacıyla, atkı ipliklerinde 8 katlı sarmal yapılı iplikler kullanılarak dokunan bezayağı örgü yapısına sahip kumaşların (A3 ve A4) çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.6-4.9).

Çalışmada incelenen A3 ve A4 kodlu kumaşların atkı iplikleri sarmal katlı yapılı olup, çözgü ipliklerinde konvansiyonel iplik yapıları (600 denye poliester) kullanılmıştır (Çizelge 3.2). Sarmal katlı iplikleri oluşturan bileşenlerin de kumaşların auxetic performansına olan etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla A3 kumaşı Y3 kodlu sarmal katlı iplik (300/96 denye/filament iplik bileşenleriyle), A4 kumaşı Y4 kodlu sarmal katlı iplik (300/10 denye/filament iplik bileşenleriyle) yapıları kullanılarak dokunmuştur.

Şekil 4.6’ da, A3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur.



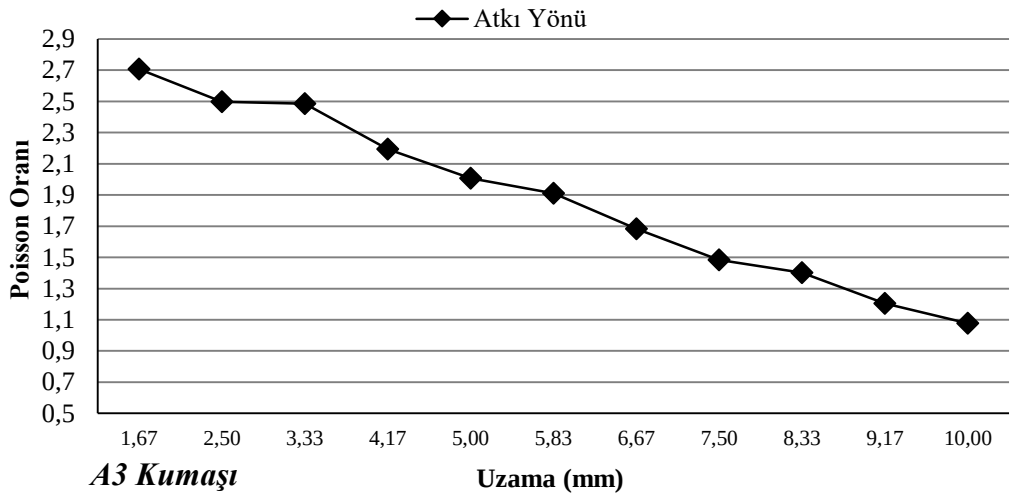
Şekil 4.6. A3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.6' dan, A3 kumaşının (4x300/96 denye/filament iplik bileşenli sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 3,33 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama altında) ≈ - 0,33 olarak elde edilmiştir.

Kumaşa uygulanan uzama arttırıldıkça kumaşın pozitif Poisson oranı değeri verdiği ve uzama arttırıldıkça Poissson oranının pozitif yönde arttığı görülmüştür. 30 mm uzama altında, kumaşın Poisson oranının en yüksek ≈ +0,61 değerinde kaldığı görülmektedir.

Sarmal katlı hacimli bir iplik yapısının dokuma kumaş oluşumunda atkı ipliği olarak kullanıldığı A3 kumaşında (300/96 denye/filament iplik bileşenli), çözgü yönlü gerilim altında belirli bir uzama değerine kadar NPR etkisinin elde edildiği görülmüş olup, ancak bu NPR etkisinin braid atkı ipliği (300/96 denye/filament iplik bileşenli) ile dokunan A2 kumaşı ile karşılaştırıldığında, oldukça düşük uzama değerlerinde kaldığı görülmektedir. A2 kumaşında 16,67 mm uzamaya kadar NPR verdiği gözlemlenirken, A3 kumaşında 3,33 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir.

Bu sonucun, braid iplik yapılarının girişli (re-entrant) etkisinden kaynaklandığı (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, basımda-2022a) ve konvansiyonel çözgü ipliklerine uygulanan çözgü yönlü gerilim altında, konvansiyonel çözgü ipliklerinin gerilmesiyle braid yapılı atkı ipliklerine uyguladıkları baskı sonucu kumaşın enine yönde genişlemesine ve bunun sonucunda kumaşın NPR etkisi vermesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

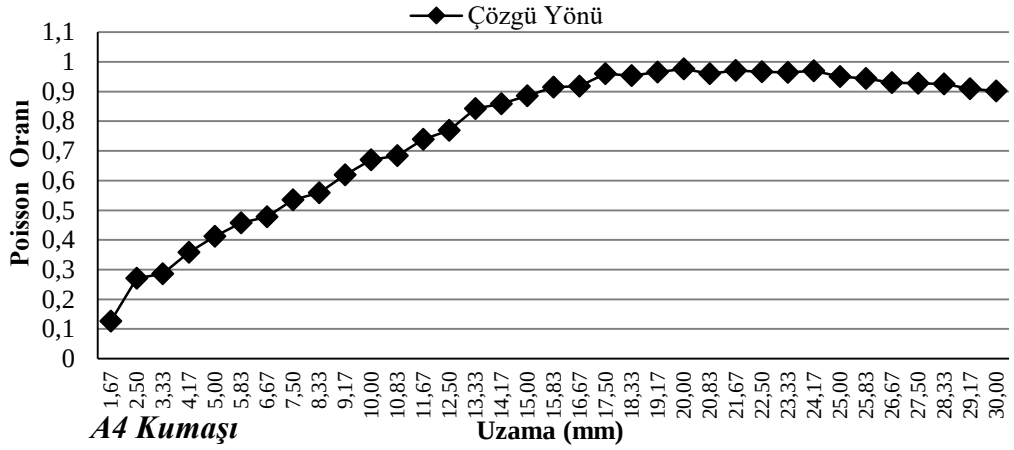


Şekil 4.7. A3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.7' de, A3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A3 kumaşının atkı yönünde NPR etkisi göstermediği, gerilim altında pozitif Poisson oranı değerleri verdiği görülmüştür. 10 mm uzama altında, atkı yönünde en yüksek ≈ +2,71 değerinde pozitif Poisson değeri elde edilmiştir.

A3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde (Şekil 4.7), A2 kumaşındaki eğilime (Şekil 4.5) benzer şekilde bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Sarmal katlı atkı ipliği ile dokunan A3 kumaşının (≈ +2,71), braid yapılı atkı ipliği ile dokunan A2 kumaşına (≈+1,62) göre, atkı yönünde (başlangıç uzama değeri altında elde edilen en yüksek değer için) daha yüksek pozitif Poisson oranı değeri verdiği görülmüştür.

A3 kumaşı, başlangıç uzama altında (1,67 mm) en yüksek pozitif Poisson oranı değeri (≈+2,71) verdiği ve uzama arttıkça Poisson oranı değerinin düştüğü görülmüştür. A3 kumaşında gözlenen bu durumun, A2 kumaşında da açıklandığı üzere, kumaşın atkı yönlü gerilim altında, gerilim arttıkça kumaşta enine yönde daralma miktarındaki azalma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. A4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

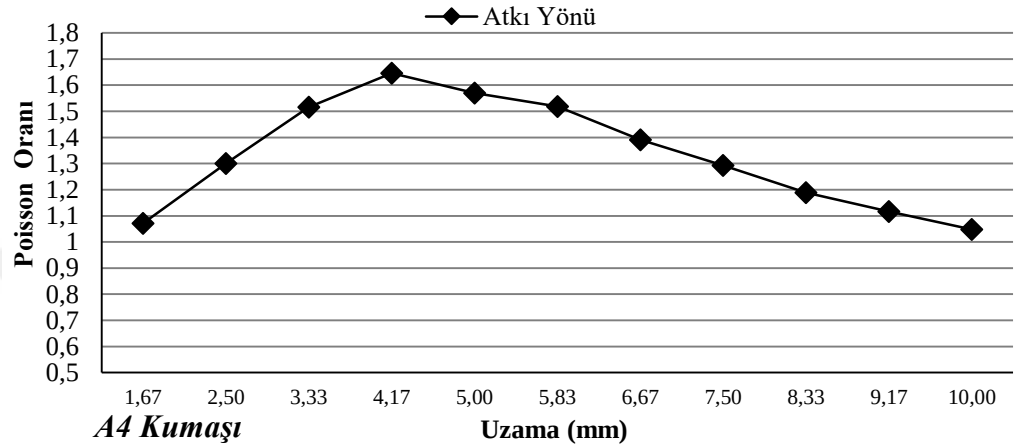
Şekil 4.8' de, A4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. Sarmal katlı Y4 grubu ile dokunan A4 kumaşında gerilim altında çözgü yönünde NPR etkisi elde edilemediği görülmektedir. Uzama arttırıldıkça A4 kumaşının Poisson oranının pozitif yönde arttığı, 30 mm uzama altında en yüksek ≈+0,98 Poisson oranı verdiği görülmüştür.

Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan A3 (Şekil 4.6) ve A4 (Şekil 4.8) kumaşının çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, sarmal katlı Y3 (8x300/96 denye/filament iplik bileşenli 8 katlı sarmal iplik yapısı) ipliklerle dokunmuş A3 kumaşında düşük uzama değerleri (3,33 mm) altında NPR etkisi elde edilmiş, ancak Y4 (4x300/96 denye/filament teksture poliester + 4x 85/36 denye/filament HT poliester bileşenli 8 katlı sarmal iplik yapısı) grubu sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan A4 kumaşında çözgü yönünde NPR etkisi elde edilemediği gözlenmiştir.

Bu durum, daha hacimli ve kalın yapıda olan Y3 (2757 denye) sarmal katlı yapılı atkı ipliğinin, çözgü yönlü kumaş gerilimi altında kumaşta enine yönde bir genişleme etkisi göstererek kumaşın auxetic bir davranış göstermesini sağladığı görülmüştür. Y3 ipliğine göre daha ince olan Y4 (1615 denye) sarmal katlı atkı ipliğinin kumaş yapısı içinde enine genişleme etkisi meydana getiremediği görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, sarmal katlı ipliği oluşturan iplik bileşenlerinin ve buna bağlı olarak iplik kalınlık ve hacimliliğinin, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir (Şekil 3.1).

Ayrıca, Y3 ve Y4 ipliklerini oluşturan bileşen ipliklerin iplik hacimliliğine ve dolayısıyla kumaş kalınlığına olan etkileri değerlendirildiğinde, Çizelge 3.2' den daha hacimli bir

yapıda olan kalın Y3 ipliğiyle dokunan A3 kumaşının 0,98 mm kumaş kalınlık değeri, daha ince Y4 ipliğiyle dokunan A4 kumaşının 0,68 mm kumaş kalınlık değeri verdiği görülmektedir. Sarmal katlı ipliği oluşturan bileşenlerin özelliklerinin ve buna bağlı olarak ipliğin tutum özelliklerinin (sertlik, yumuşaklık, hacimlilik vb.) kumaşın auxetic performansını etkileyebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. A4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.9' da, A4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A4 kumaşının, A3 kumaşıyla benzer şekilde, atkı yönünde NPR etkisi göstermediği, gerilim altında pozitif Poisson oranı değerleri verdiği görülmüştür. 10 mm uzama altında, atkı yönünde en yüksek ≈ +1,65 değerinde pozitif Poisson değeri elde edilmiştir.

A4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde (Şekil 4.9), A1 kumaşındaki atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğilime (Şekil 4.2) benzer şekilde bir eğilim (uzama arttıkça pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde) gösterdiği görülmektedir.

A grubu kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama değişimlerinin eğilimleri karşılaştırıldığında;
- A2 (Şekil 4.4) ve A3 (Şekil 4.7) kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğilimlerinin; uzama arttıkça, pozitif değerde olan Poisson oranında düşme eğilimli,
- A1 (Şekil 4.2) ve A4 (Şekil 4.9) kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğilimlerinin; uzama arttıkça pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde bir eğilim elde edildiği görülmektedir. Kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğilimlerindeki bu durumun, atkı iplik kalınlıklarının etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

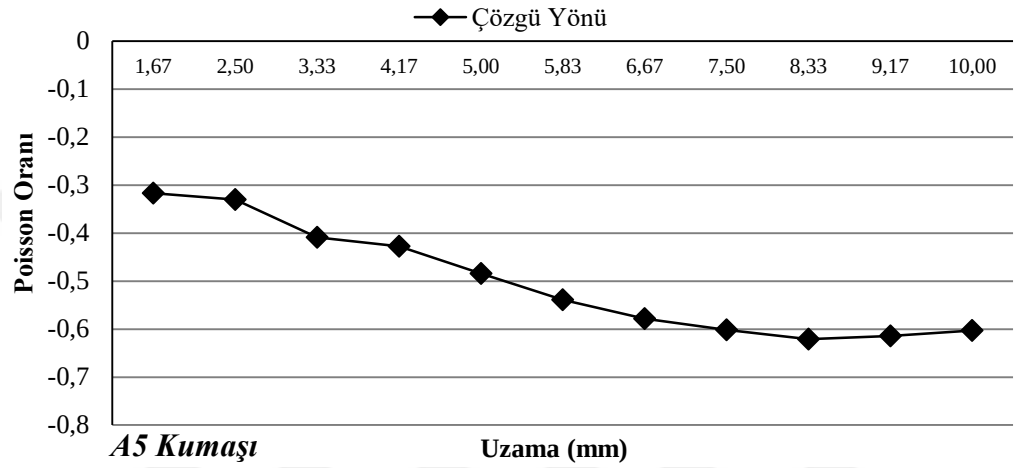
Uzama arttıkça; pozitif değerde olan Poisson oranında düşme şeklinde olan eğilimin, kalın atkı ipliği (A2 kumaşı: 1748 denye braid iplik ve A3 kumaşı: 2757 denye sarmal katlı iplik (Çizelge 3.2)) kullanılması durumunda,
Uzama arttıkça; pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde olan eğilimin, daha ince atkı ipliği (A1 kumaşı: 1619 denye braid iplik ve A4 kumaşı: 1615 denye sarmal katlı iplik (Çizelge 3.2)) kullanılması durumunda meydana geldiği görülmektedir.

Kalın atkı ipliği kullanılması durumunda gözlemlenen Poisson oranında düşme şeklinde olan eğilimin, kumaşın atkı yönlü gerilim altında, gerilim arttıkça kumaşta enine yönde (kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişimin artmaya devam etme (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017) etkisinden dolayı) daralma miktarındaki azalma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnce atkı ipliği kullanılması durumunda gözlemlenen pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde olan eğilimin, sırasıyla; gerilim arttıkça kumaşta enine yöndeki daralma miktarındaki artış etkisinden ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişimin artmaya devam etmesi (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017) etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.3. Lateks ve konvansiyonel atkı iplik yerleşimli A grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

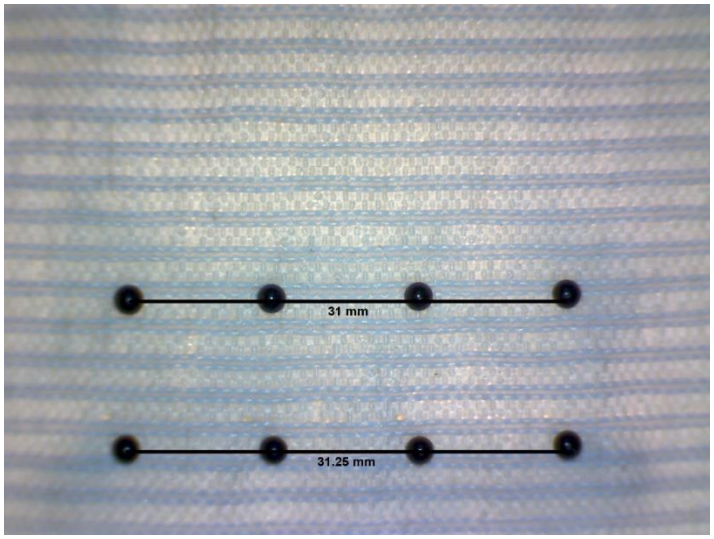
Şekil 4.10' da, A5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A5 kumaşı, atkı ipliği olarak 2 adet monofilament lateks ve 2 adet 600 denye poliester (A grubu kumaşların çözgü ipliğinde kullanılan konvansiyonel poliester teksture iplik) iplik kullanılarak dokunmuştur (Çizelge 3.2).



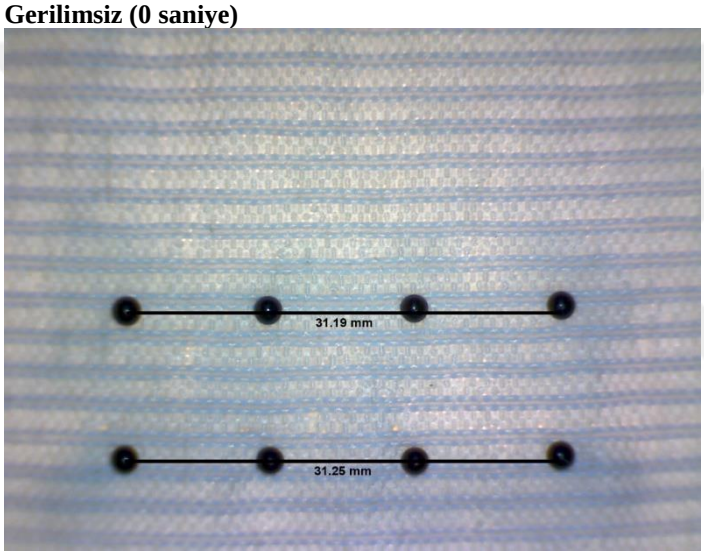
Şekil 4.10. A5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.10'dan, A5 kumaşının çözgü yönünde 10 mm uzama boyunca NPR verdiği ve kumaşın auxetic bir davranış gösterdiği görülmektedir. Kumaşın ilk başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama) ≈ -0,32 değerinde bir Poisson oranı verdiği ve uzama devam ettirildikçe Poisson oranının negatif yönde artmaya devam ettiği ve 10mm' lik uzama için ≈ -0,6 Poisson oranı değeri verdiği görülmüştür. Atkı ipliğinde monofilament lateks olarak kullanılan bileşenin, kumaşın çözgü yönünde uzatılmasıyla enine yönde genişleme etkisi meydana getirdiği ve 10 mm uzama boyunca kumaşın enine yöndeki genişleme etkisini ve dolayısıyla NPR etkisini sürdürdüğü gözlemlenmiştir.

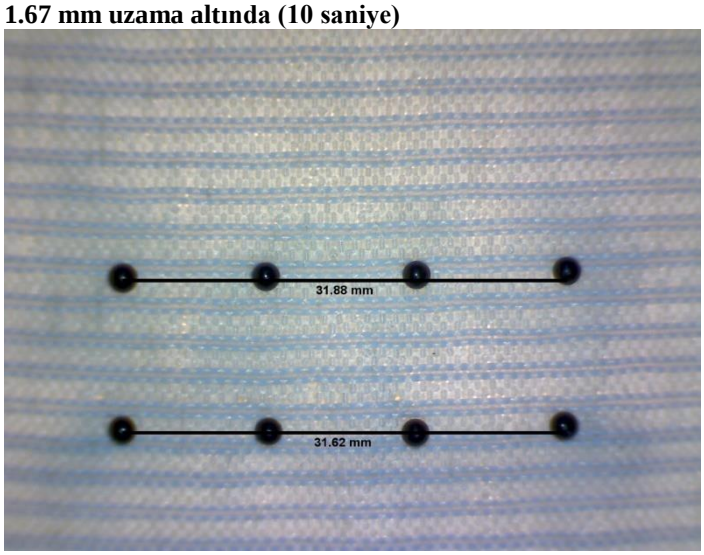
A5 kumaşında NPR etkisi meydana getiren enine yöndeki genişlemeyi göstermek amacıyla, çözgü yönlü gerilim altında kumaşın enine genişlemesi, kumaş fotoğrafları üzerinden farklı saniyelerde (0-60 saniye arasındaki) alınan görseller üzerinden ImageJ yardımıyla yapılan ölçümler Şekil 4.11' de sunulmuştur. Şekil 4.11' de, kumaşın enine genişleme etkisini görsel olarak göstermek amacıyla kumaşa yerleştirilen ilk ve son işaretleyiciler arasındaki mesafeler ölçülmüştür.



Gerilimsiz (0 saniye)

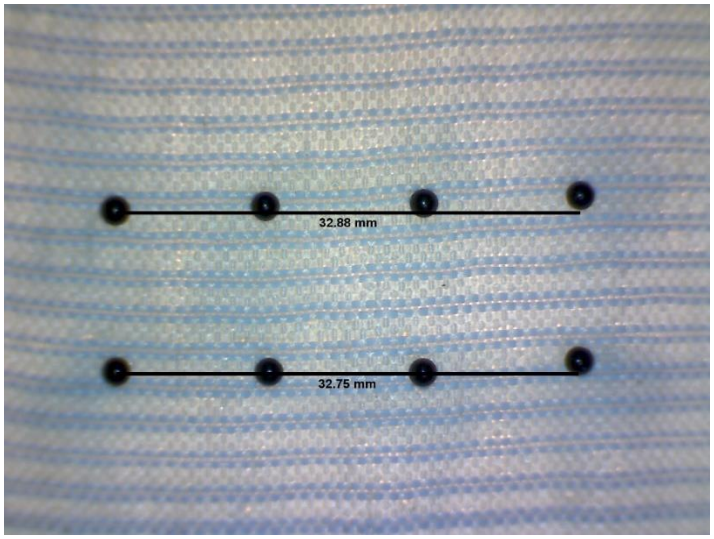


1.67 mm uzama altında (10 saniye)



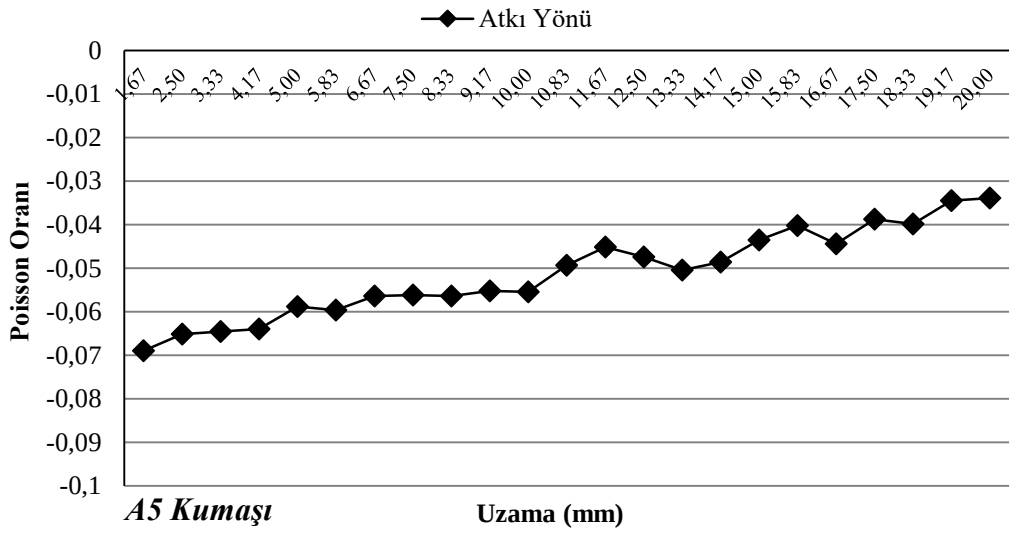
5.00 mm uzama altında (30 saniye)

Şekil 4.11. A5 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimler



10 mm uzama altında (60 saniye)

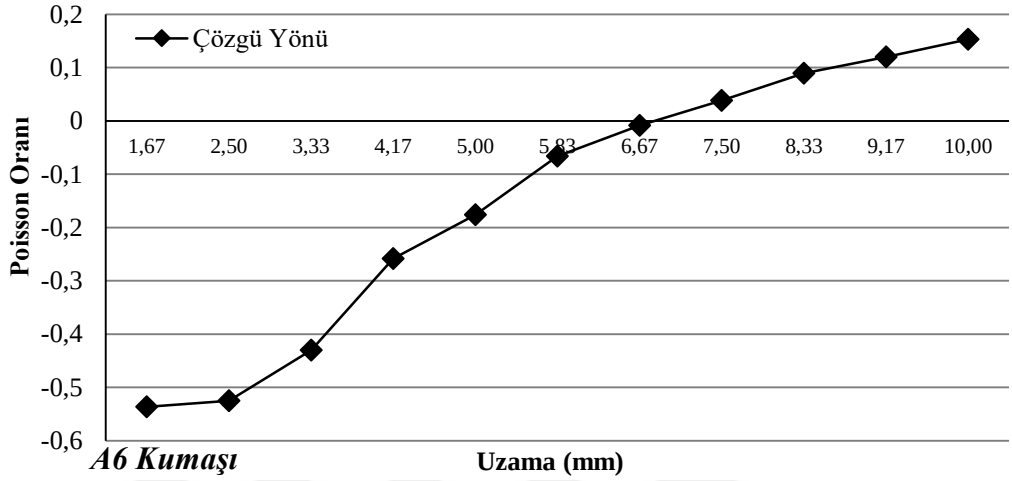
Şekil 4.11. A5 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam)



Şekil 4.12. A5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.12' de, A5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A5 kumaş yapısında atkı yönünde de çözgü yönünde gözlemlendiği gibi NPR etkisinin elde edildiği ve kumaşın auxetic bir davranış gösterdiği görülmüştür. Atkı yönünde en yüksek negatif Poisson oranı değeri başlangıç gerilimi altında gözlemlenmiş olup (≈ -0,069), 20 mm' lik uzama boyunca negatif değerde kaldığı görülmüştür.

Atkıda kullanılan lateks yapının, başlangıç gerilimi altında, kumaşta çözgü yönünde ≈ -0,32 değerinde bir Poisson oranı verirken, atkı yönünde ise ≈ -0,069 oranında bir Poisson oranı verdiği görülmüştür. Çözgü yönlü elde edilen değerin, atkı yönüne göre önemli oranda daha yüksek olduğu görülmektedir.

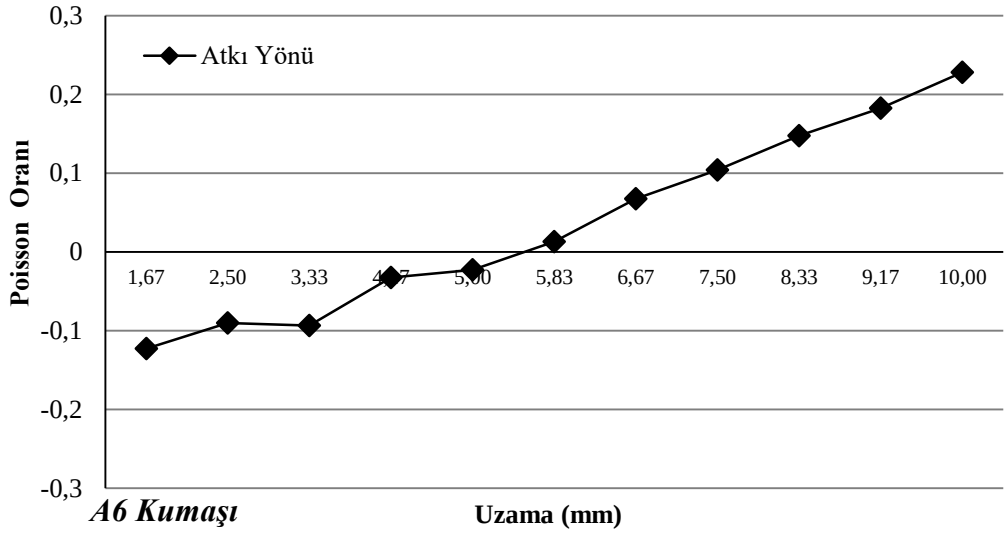


Şekil 4.13. A6 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.13' de, A6 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A6 kumaşı, atkı ipliği olarak 2 adet monofilament lateks ve 10 adet 600 denye poliester (çözgü ipliğinde kullanılan konvansiyonel poliester teksture iplik) iplik atılarak dokunmuştur (Çizelge 3.2).

Şekil 4.13'den, A6 kumaşının çözgü yönünde 6,67 mm uzama boyunca NPR verdiği görülmektedir. Kumaşın ilk başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama) ≈ -0,54 değerinde bir Poisson oranı verdiği görülmüştür.

A6 kumaşında (10 konvansiyonel + 2 lateks) gözlemlenen NPR etkisinin (6,67 mm' ye kadar NPR gözlemlenmiştir), A5 kumaşında (2 konvansiyonel + 2 lateks) gözlemlenen NPR etkisine (10 mm boyunca gözlemlenmiştir) göre daha düşük uzama değerlerinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.14. A6 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.14' de, A6 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. A6 kumaş yapısından atkı yönünde 5 mm uzama boyunca NPR etkisinin elde edildiği görülmektedir. Kumaşın ilk başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama) ≈ -0,12 değerinde bir Poisson oranı verdiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlardan, kumaş yapısında atkı ipliği olarak lateks yapı bileşeninin kullanılmasıyla kumaşın gerilim altında auxetic bir davranış elde edilebileceği görülmüş olup, kumaştan elde edilen NPR etkisinin atkı ipliği olarak atılan lateks ve konvansiyonel iplik oranlarına göre değiştiği görülmüştür.

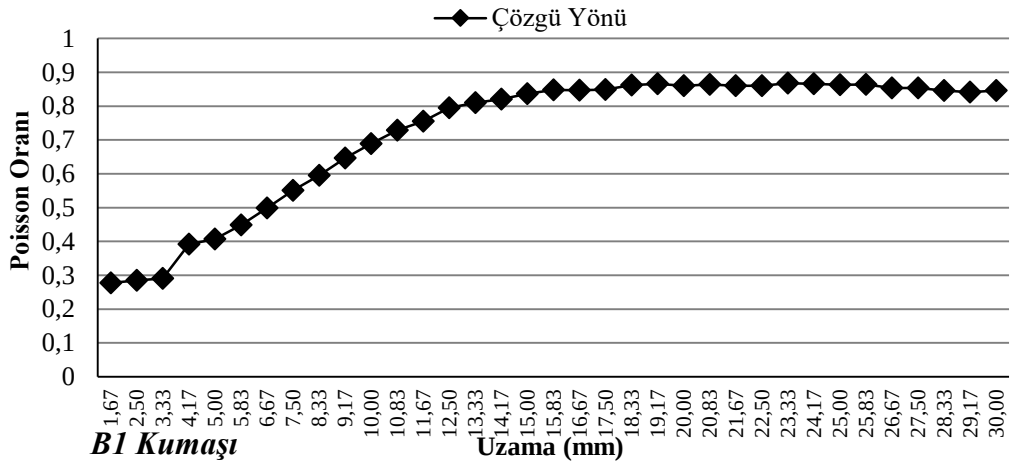
4.2. B Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi

B grubu kumaşlar, atkı ipliği olarak braid (Y1 ve Y2), sarmal katlı iplikler (Y3) ve lateks yapı bileşeni kullanılarak, A grubundan farklı olarak (A grubunda çözgü ipliği olarak konvansiyonel yapılı çözgü iplikleri kullanılmıştır), B grubu kumaşlarda çözgü ipliği olarak braid iplik yapısı kullanılmıştır. Böylece, çözgü olarak braid yapılı ipliklerin kullanılması durumunda kumaş yapılarının auxetic performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

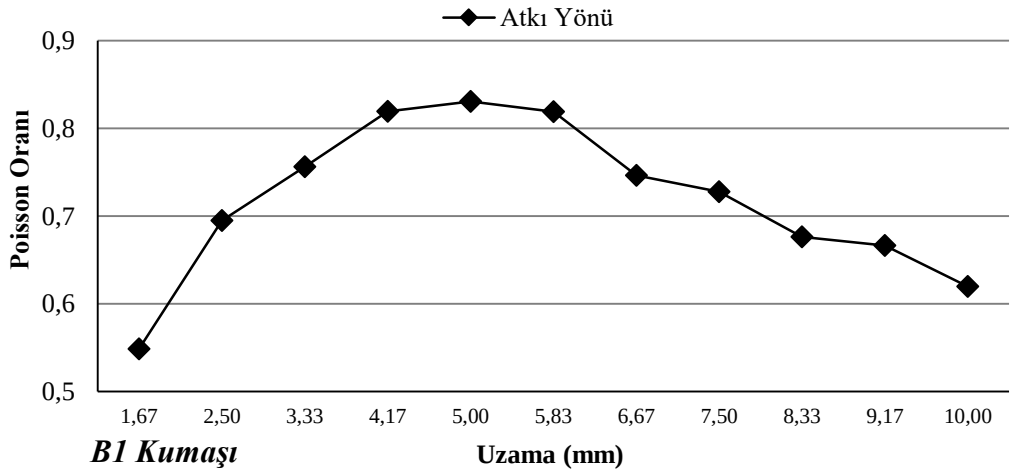
4.2.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Şekil 4.15-4.18' de, B1 ve B2 kumaşlarının çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri sunulmuştur. Şekil 4.15 ve Şekil 4.17' den B1 ve B2 kumaşlarında çözgü yönünde NPR etkisinin elde edilemediği görülmektedir.

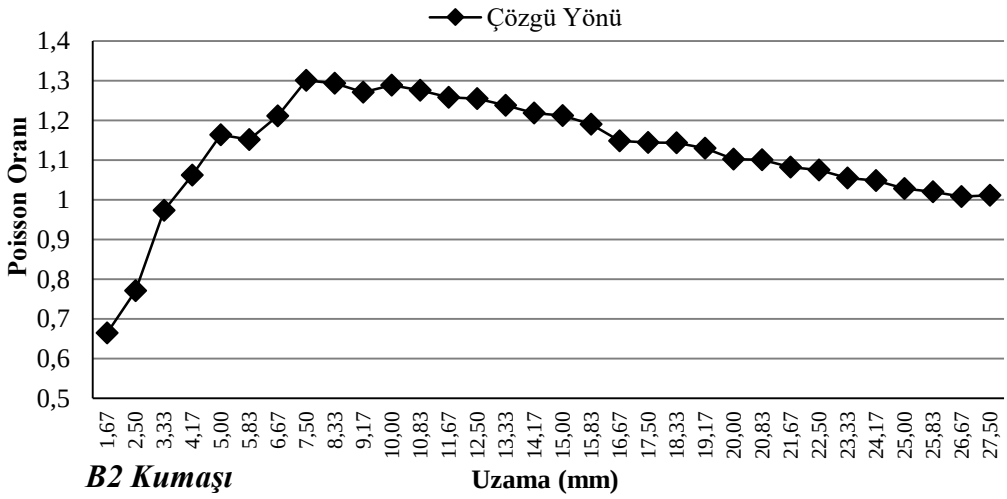
Şekil 4.16' dan, B1 kumaşında (300/10 denye/filament teksture poliester poliester bileşenli Y1 atkı ipliği ile dokunan) atkı yönlü gerilim altında NPR etkisi gözlenememiş olup, B2 kumaşında (300/96 denye/filament teksture poliester bileşenli Y2 atkı ipliği ile dokunan), 2,50 mm gibi düşük bir uzama değerine kadar atkı yönlü gerilim altında NPR elde edilebildiği görülmüştür (Şekil 4.18).



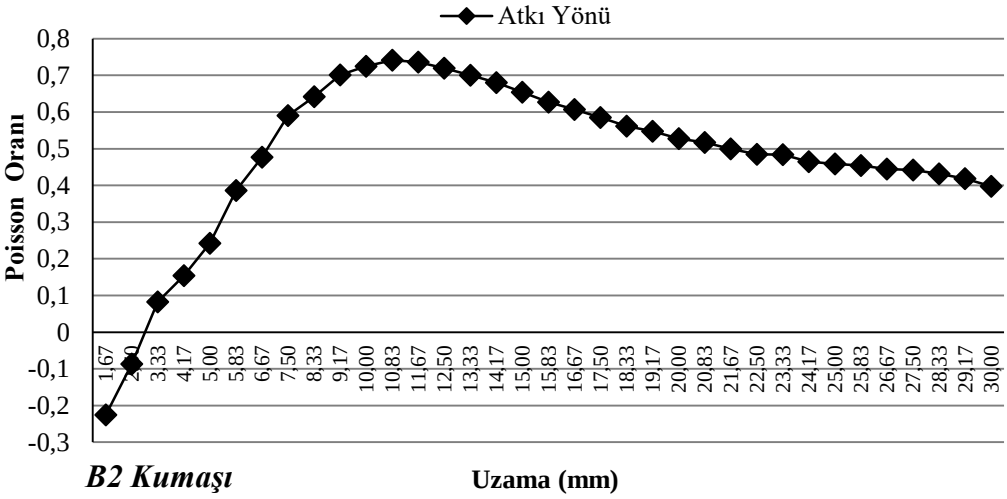
Şekil 4.15. B1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi



Şekil 4.16. B1 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi



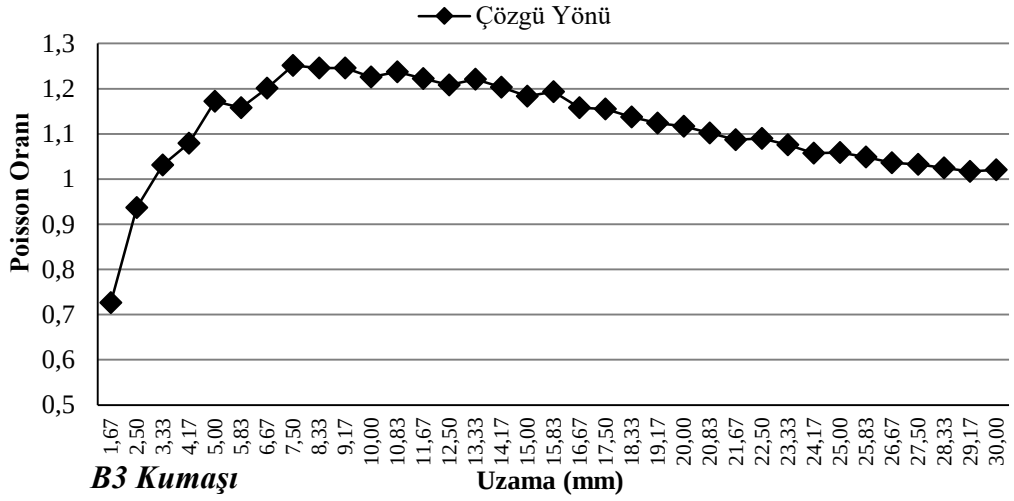
Şekil 4.17. B2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi



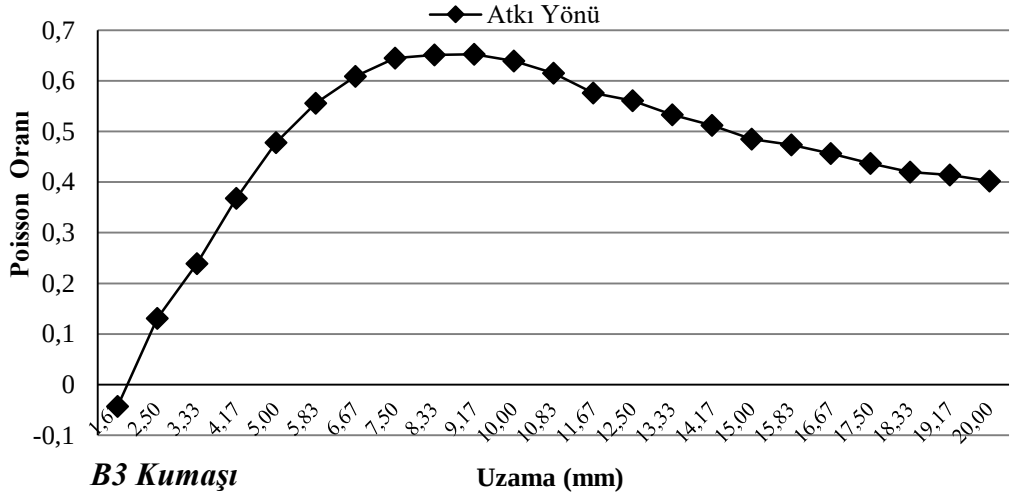
Şekil 4.18. B2 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

4.2.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Şekil 4.19-4.20' de, sarmal katlı (8x 300 denye/filament Y3 atkı ipliğiyle dokunan) B3 kumaşının çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri sunulmuştur. Şekil 4.19' dan kumaşın çözgü yönünde NPR etkisinin elde edilemediği, Şekil 4.20' den atkı yönünde 1,67 mm' lik başlangıç uzama değeri altında ≈ -0,043 değerinde negatif Poisson oranı elde edilebildiği görülmektedir.



Şekil 4.19. B3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

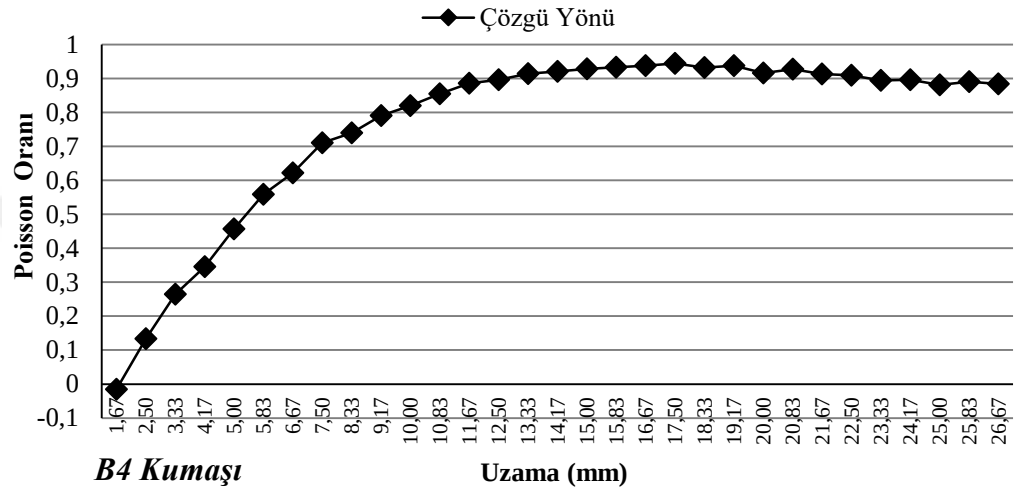


Şekil 4.20. B3 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

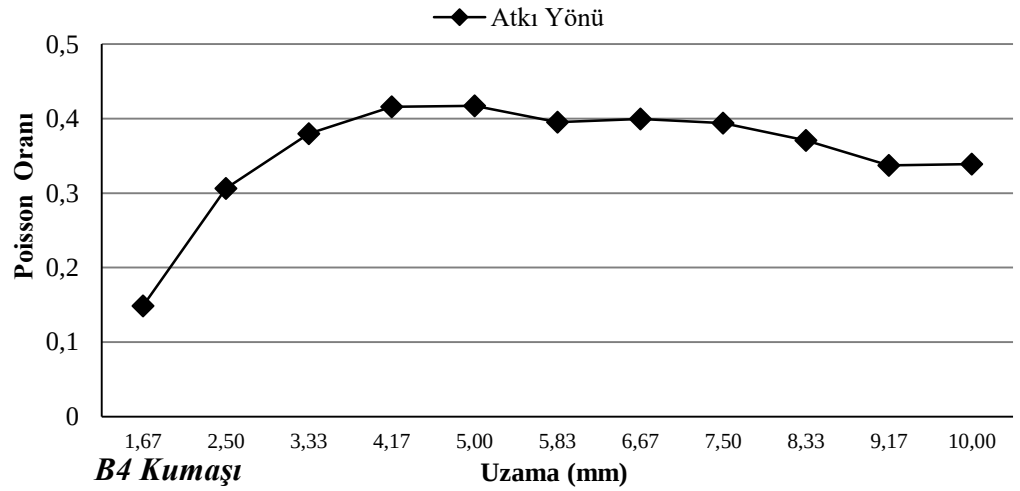
Çözgü ipliğinde braid yapılı ipliklerin kullanılması durumunda (B grubu kumaşlar), A grubu kumaşlarda (konvansiyonel çözgü ipliği ile dokunan) gözlemlendiği gibi çözgü yönlerinde NPR etkisi gözlemlenememiştir. Elde edilen sonuçlardan, braid ve sarmal katlı atkı ipliklerinin konvansiyonel çözgü iplikleriyle dokunduğu dokuma kumaş yapılarında, braid yapılı çözgü ipliklerinin kullanılmasına göre, daha iyi bir auxetic performansın elde edilebileceği öngörülmektedir.

4.2.3. Lateks ve braid atkı iplik yerleşimli B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22' de, B4 kumaşının çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri sunulmuştur. B4 kumaşı, atkı ipliği olarak 2 adet monofilament lateks ve 2 adet braid yapılı (Y1) iplik kullanılarak dokunmuştur (Çizelge 3.3). B4 kumaşının çözgü ipliğinde Y1 kodlu braid iplik yapısı kullanılmıştır.



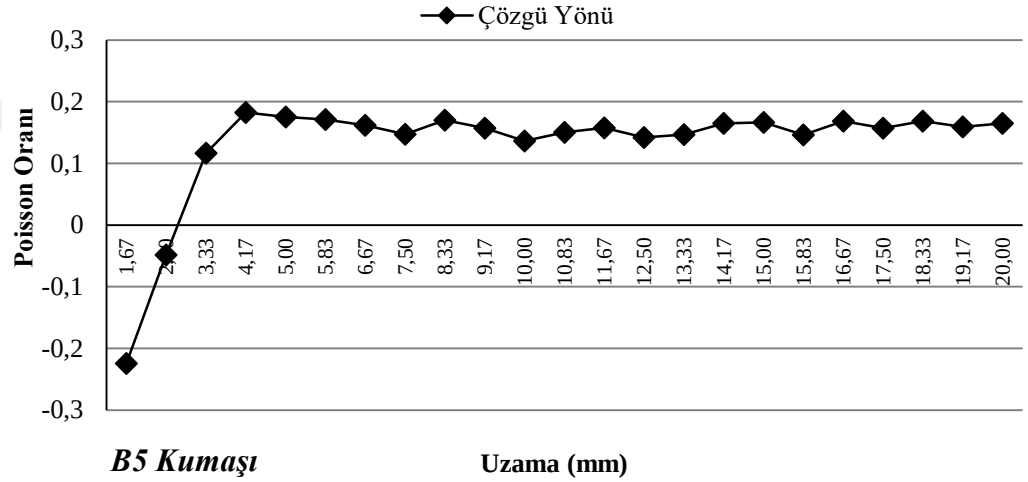
Şekil 4.21. B4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi



Şekil 4.22. B4 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Çözgü ipliğinde braid ipliklerin, atkı ipliğinde de braid ve lateks yapı bileşenlerinin 2 + 2 yerleşimli kulanıldığı B4 kumaşında (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22), A grubunda elde edildiği (Şekil 4.10 ve Şekil 4.12) gibi NPR etkisinin elde edilemediği görülmüştür.

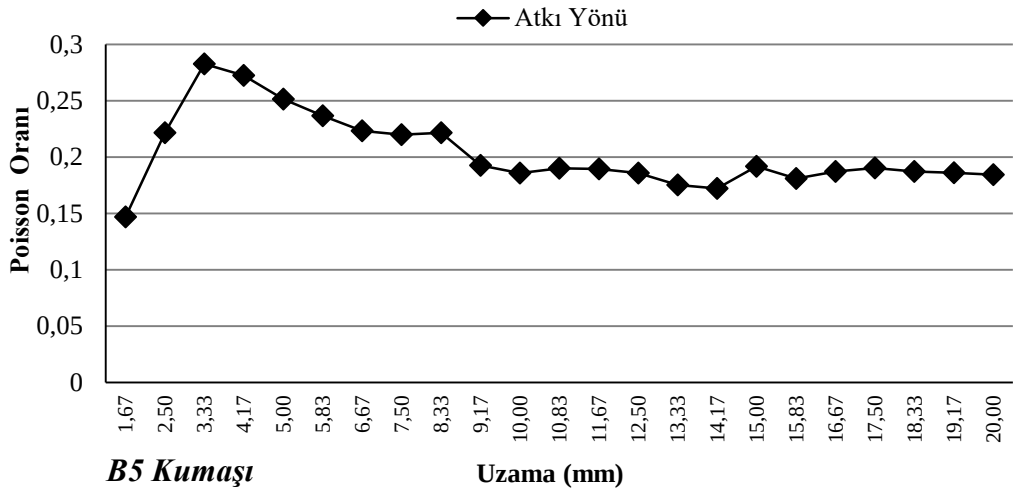
Şekil 4.23 ve Şekil 4.24' de, B5 kumaşının çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri sunulmuştur. B5 kumaşı, atkı ipliği olarak 1 adet monofilament lateks ve 1 adet braid yapılı (Y6) iplik kullanılarak dokunmuştur (Çizelge 3.3). B5 kumaşının çözgü ipliğinde Y6 kodlu braid iplik yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4.23. B5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.23' de B5 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde, çözgü ipliğinde braid ipliklerin, atkı ipliğinde de braid ve lateks yapı bileşenlerinin 1 + 1 yerleşimli kulanıldığı B5 kumaşında çözgü yönünde başlangıç gerilimi (1,67 mm uzamada) altında ≈ -0,22 değerinde NPR elde edildiği gözlemlenmiştir. Atkı ipliğinde braid ve lateks yapı bileşenlerinin 1 + 1 yerleşimli kulanıldığı durumda çözgü yönünde elde edilen NPR etkisinin 2,50 mm uzamaya kadar gözlendiği görülmüştür. Yapı bileşeni olarak atkı ipliğinde kullanılan monofilament lateks bileşeninin 1 + 1 yerleşimli durumda çözgü yönünde NPR etkisi elde edilebilirliğini göstermiştir.

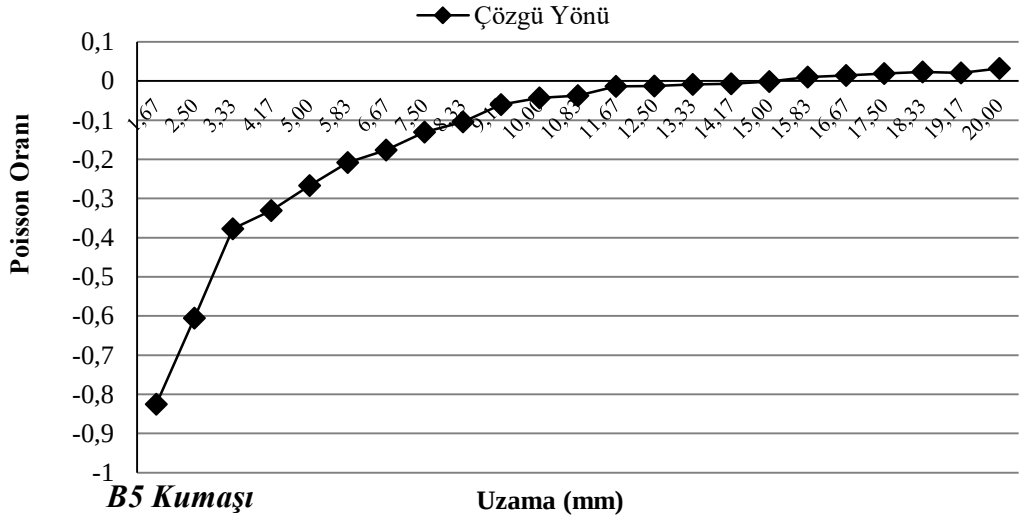
Şekil 4.24' de B5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi incelendiğinde, B4 kumaşına benzer şekilde, NPR etkisinin atkı yönünde elde edilemediği gözlemlenmiştir.



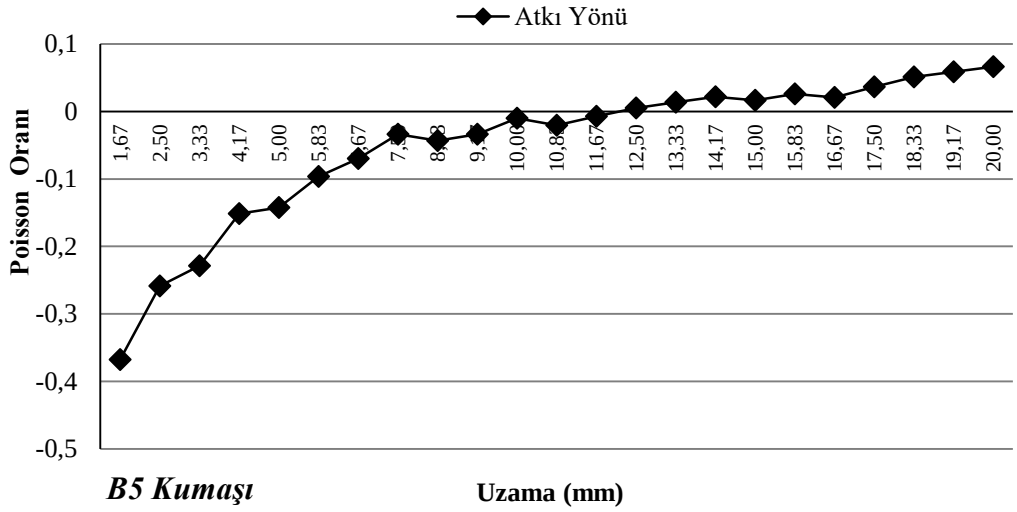
Şekil 4.24. B5 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

4.2.4. Lateks ve sarmal katlı atkı iplik yerleşimli B grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' de, B6 kumaşının çözgü ve atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri sunulmuştur. B6 kumaşı, atkı ipliği olarak 1 adet monofilament lateks ve 1 adet sarmal katlı iplik (Y3) kullanılarak dokunmuştur (Çizelge 3.3). B6 kumaşının çözgü ipliğinde Y6 kodlu braid iplik yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4.25. B6 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi



Şekil 4.26. B6 kumaşının atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' den B6 kumaşının çözgü ve atk yönlü Poisson oranı – uzama eğrileri incelendiğinde, çözgü ipliğinde braid iplik yapısının kullanıldığı B6 kumaşında sarmal katlı iplik ve lateks yapı bileşenlerinin atkı ipliği olarak 1+1 düzeninde kullanılmasıyla çözgü yönünde (≈ 15 mm uzamaya kadar) ve atkı yönünde (≈ 11,67 mm uzamaya kadar) uzun uzama değerleri altında NPR etkisinin elde edilebildiği gözlemlenmiştir. B6 kumaş yapısında başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama) çözgü yönünde ≈ -0,82 ve atkı yönünde ≈ -0,37 değerinde yüksek negatif Poisson oranı değerleri elde edilmiştir.

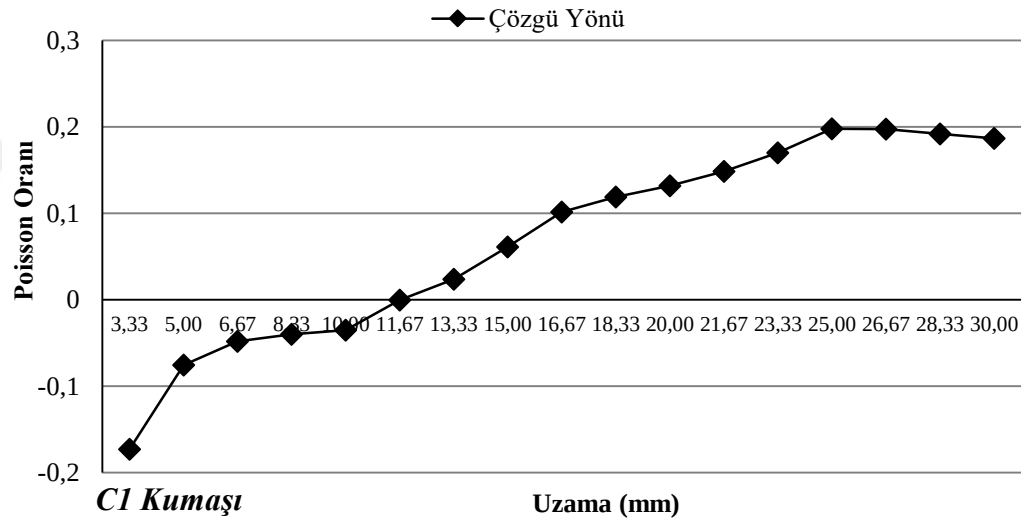
4.3. C Grubu Kumaşların Auxetic Performansının Değerlendirilmesi

C grubu kumaşlar, atkı ipliği olarak braid (Y1 ve Y2) ve sarmal katlı iplikler (Y3 ve Y4) kullanılarak, A grubundan farklı olarak (A grubu kumaşlar ipliklerin bire-bir bağlantı (kesişim) yaptığı bezayağı örgü yapısında dokunmuştur.), ipliklerin örgü yapısı içinde uzun atlamalar (yüzmeler) yaptığı örgü yapısında dokunmuş dar dokuma kumaş yapılarıdır. Böylece, braid ve sarmal katlı yapılı ipliklerin kumaş içinde uzun atlamalar yapması durumunda (A grubu bezayağı örgülü kumaşlarla karşılaştırılabilmesi amacıyla) kumaş yapılarının auxetic performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

C grubu kumaşların çözgü iplikleri, A grubu kumaşlarda olduğu gibi, konvansiyonel yapılı çözgü ipliklerinden (600 denye) oluşmaktadır.

4.3.1. Braid atkı iplikleriyle dokunan C grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Şekil 4.27' de, C1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. C1 kumaşının (300/10 denye/filament iplik bileşenli Y1 kodlu braid atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 10 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (3,33 mm uzama altında) ≈ - 0,17 olarak elde edilmiştir.

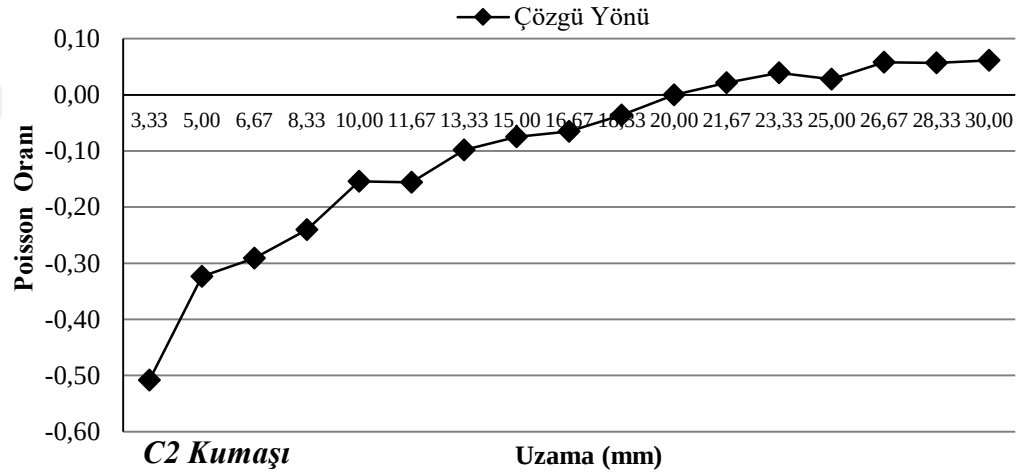


Şekil 4.27. C1 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

İpliklerin kumaş yapısı içinde uzun atlamalar yaptığı C1 kumaşı (Şekil 4.27) ile ipliklerin bire-bir kesişim yaptığı A1 kumaşının (Şekil 4.1) çözgü yönlü gerilim altındaki auxetic davranışları karşılaştırıldığında, A1 kumaşının 5 mm uzamaya kadar NPR verdiği gözlemlenirken, C1 kumaşının 10 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. Bu sonuç, ipliklerin kumaş içinde uzun atlamalar yaparak konumlanması durumunda, daha yüksek uzama değerleri altında NPR etkisini sürdürdüğünü göstermektedir. İpliklerin kumaş içinde yaptığı bağlantı arttıkça, kumaşa uygulanan gerilim altında ipliğin kumaş içinde gösterebileceği enine genişleme etkisi ve dolayısıyla NPR etkisini azaltabileceği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.27' den, C1 Kumaşına uygulanan uzama arttırıldıkça (10 mm üzerine çıkıldıkça) kumaşın pozitif Poisson oranı değeri verdiği ve uzama arttırıldıkça Poisson oranının pozitif yönde arttığı görülmüştür.

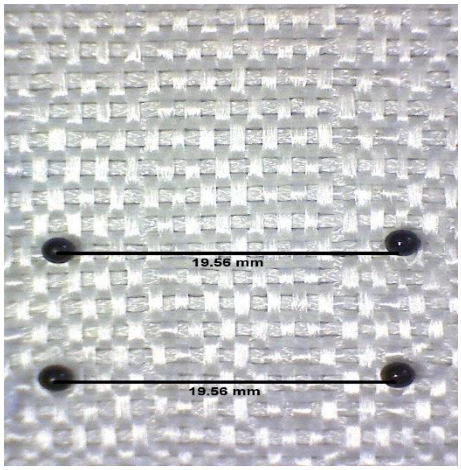
30 mm uzama altında, kumaşın Poisson oranının en yüksek ≈ +0,2 değerinde kaldığı görülmektedir. Şekil 4.1' den, A1 kumaşında 30 mm uzama altında, Poisson oranının en yüksek ≈ +0,7 değeri verdiği görülmektedir. İpliklerin maksimum kesişim yaptığı bezayağı örgü yapısına sahip olan A1 kumaşında gerilim arttırıldıkça, yüksek uzama değerleri altında, pozitif Poisson değerinin en yüksek ≈ +0,7 değerine kadar çıkarken, ipliklerin uzun atlamalar yaptığı örgü raporuna sahip C1 kumaşında, yüksek uzama değerleri altında Poisson oranı değerlerinin (≈ +0,2) pozitif yönde önemli oranda yükselme göstermediği görülmüştür.



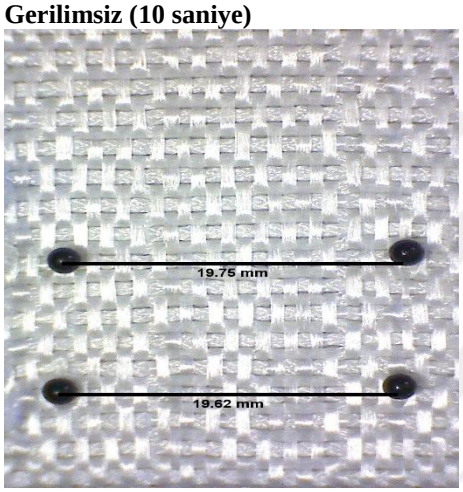
Şekil 4.28. C2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.28' de, C2 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. C2 kumaşının (300/96 denye/filament iplik bileşenli Y2 kodlu braid atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 20 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (3,33 mm uzama altında) ≈ - 0,51 olarak elde edilmiştir.

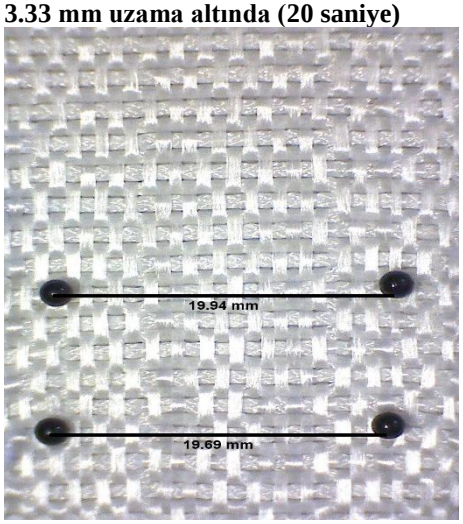
C2 kumaşında NPR etkisi meydana getiren enine yöndeki genişlemeyi göstermek amacıyla, çözgü yönlü gerilim altında kumaşın enine genişlemesi, kumaş fotoğrafları üzerinden farklı saniyelerde (0-180 saniye arasındaki) alınan görseller üzerinden ImageJ yardımıyla yapılan ölçümler Şekil 4.29' da sunulmuştur. Şekil 4.29' da, kumaşın enine genişleme etkisini görsel olarak göstermek amacıyla kumaşa yerleştirilen ilk ve son işaretleyiciler arasındaki mesafeler ölçülmüştür.



Gerilimsiz (10 saniye)

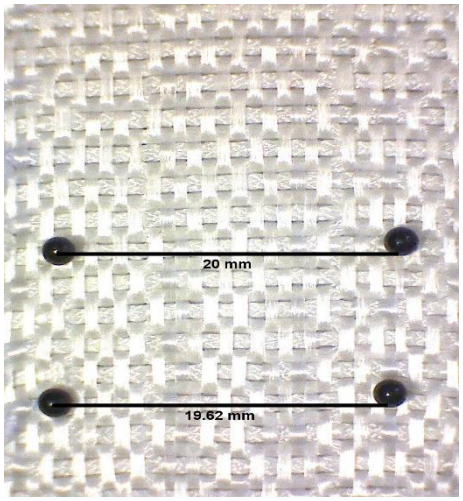


3.33 mm uzama altında (20 saniye)

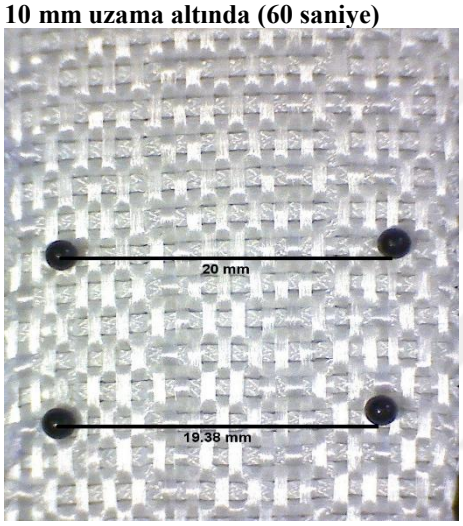


5.00 mm uzama altında (30 saniye)

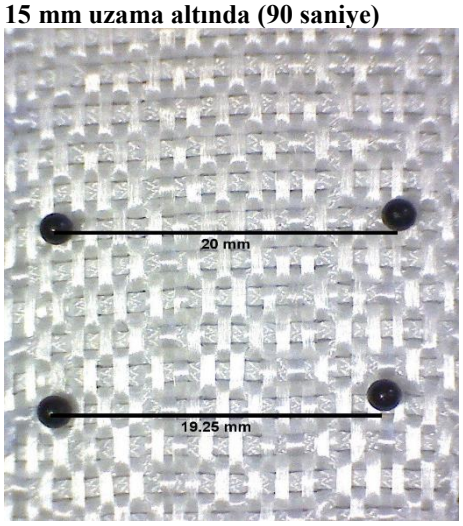
Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri



10 mm uzama altında (60 saniye)

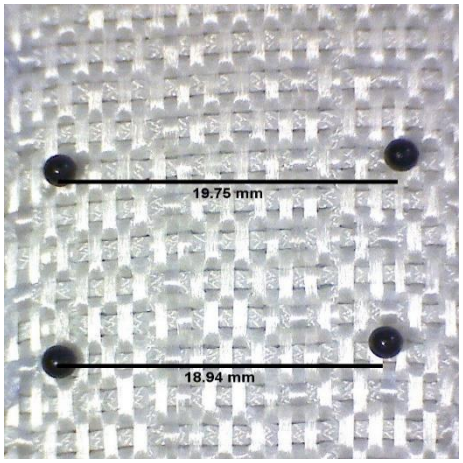


15 mm uzama altında (90 saniye)

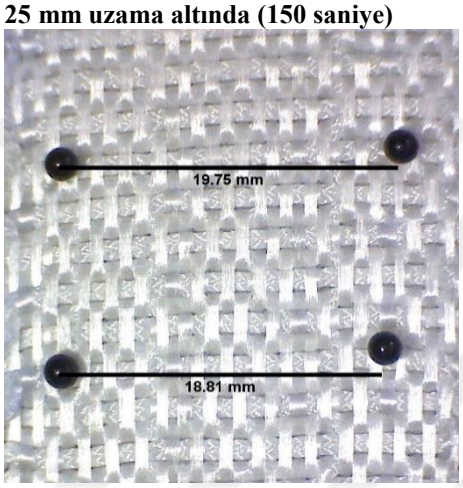


20 mm uzama altında (120 saniye)

Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-1)



25 mm uzama altında (150 saniye)



30 mm uzama altında (180 saniye)

Şekil 4.29. C2 kumaşının çözgü yönünde farklı uzama değerleri altında kumaşın enine yöndeki değişimleri (devam-2)

İpliklerin kumaş yapısı içinde uzun atlamalar yaptığı C2 kumaşı (Şekil 4.28) ile ipliklerin bire-bir kesişim yaptığı A2 kumaşının (Şekil 4.3) çözgü yönlü gerilim altındaki auxetic davranışları karşılaştırıldığında, A2 kumaşının 16,67 mm uzamaya kadar NPR verdiği gözlemlenirken, C2 kumaşının 20 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir.

Bu sonuç, ipliklerin kumaş içinde uzun atlamalar yaparak konumlanması durumunda, daha yüksek uzama değerleri altında NPR etkisini sürdürdüğünü göstermektedir. İpliklerin kumaş içinde yaptığı bağlantı arttıkça, kumaşa uygulanan gerilim altında ipliğin kumaş içinde gösterebileceği enine genişleme etkisi ve dolayısıyla NPR etkisini azaltabileceği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ipliklerin örgü yapısı içinde yaptığı bağlantı (kesişim) miktarının arttırılmasının kumaşın auxetic performansını düşürebileceğini göstermiştir.

Braid atkı iplikleriyle dokunan C1 (Şekil 4.27) ve C2 (Şekil 4.28) kumaşlarının çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, başlangıç gerilimi için, (3,33 mm uzama için) 300/96 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan C2 kumaşının (≈ - 0,51), 300/10 denye/filament iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan C1 (≈ - 0,17) kumaşına göre daha yüksek NPR değeri verdiği ve bu NPR etkisinin yüksek uzama değerleri altında da (C1 kumaşına göre) devam ettiği görülmüştür.

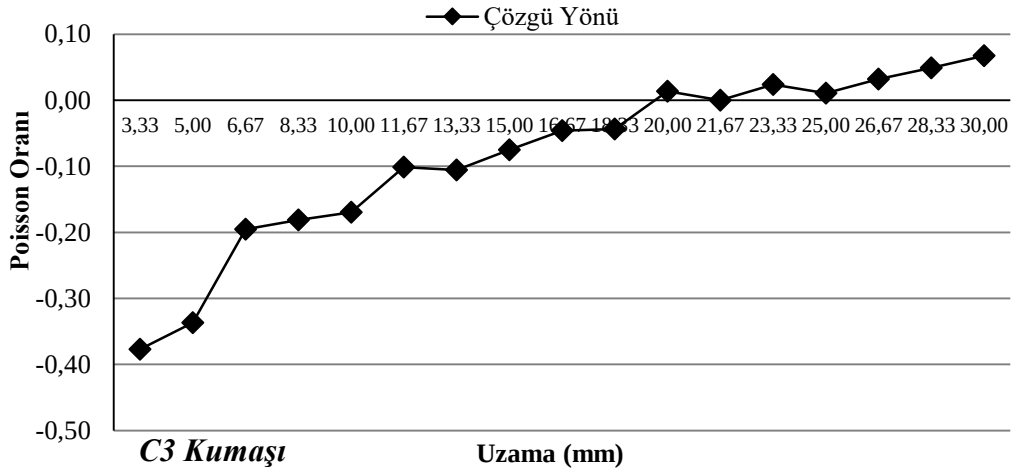
Elde edilen bu sonuç, braid ipliği oluşturan iplik bileşenini oluşturan filament sayılarının, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir. 300/10 denye/filament iplik bileşenli braid iplik (Y1) ve 300/96 denye/filament iplik bileşenli braid iplik (Y2) yapıları incelendiğinde, filament sayısı yüksek olan Y2 ipliğin daha yumuşak ve hacimli bir yapı sergilerken, Y1 ipliğinin daha sert bir yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.1).

Ayrıca, Y1 ve Y2 ipliklerini oluşturan bileşen ipliklerin filament sayılarının iplik hacimliliğine ve dolayısıyla kumaş kalınlığına olan etkileri değerlendirildiğinde, Çizelge 3.4' den filament sayısı yüksek olan Y2 (daha yumuşak ve hacimli bir iplik yapısına sahip) ipliğiyle dokunan C2 kumaşının 1,54 mm kumaş kalınlık değeri, filament sayısı az olan Y1 (daha sert bir yapıya sahip) ipliğiyle dokunan C1 kumaşının 1,47 mm kumaş kalınlık değeri verdiği görülmektedir.

Braid ipliği oluşturan bileşenlerin özelliklerinin (filament sayısı gibi) ve dolayısıyla ipliğin tutum özelliklerinin (sertlik, yumuşaklık, hacimlilik vb.) kumaşın auxetic performansını etkileyebileceği gözlemlenmiştir.

4.3.2. Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan C grubu kumaşların auxetic performansının değerlendirilmesi

Sarmal katlı (HPY) iplik yapıları kullanılarak dokunan kumaşların (C3 ve C4) çözgü yönlü Poisson oranı değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.30 ve Şekil 4.31).



Şekil 4.30. C3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.30' de, C3 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. Şekil 4.30' den, örgü yapısında uzun iplik atlamaları yapan C3 kumaşının (4x300/96 denye/filament iplik bileşenli sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) çözgü yönünde 18,33 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmektedir. En yüksek negatif Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (3,33 mm uzama altında) ≈ - 0,38 olarak elde edilmiştir.

İpliklerin bire-bir kesişim yaptığı A3 kumaşında (4x300/96 denye/filament iplik bileşenli sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan kumaş yapısı) ise çözgü yönünde 3,33 mm uzamaya kadar NPR verdiği görülmüştür (Şekil 4.6).

C3 kumaşına uygulanan uzama arttırıldıkça kumaşın pozitif Poisson oranı değeri verdiği ve uzama arttırıldıkça Poissson oranının pozitif yönde önemli oranda artmadığı görülmüştür. 30 mm uzama altında, kumaşın Poisson oranının en yüksek ≈ +0,067 değerinde kaldığı görülmektedir. A1 kumaşında ise 30 mm uzama altında, kumaşın pozitif Poisson oranının en yüksek ≈ +0,61 değerine ulaştığı görülmüştür.

Sonuçlar, kumaş yapısı içinde ipliklerin uzun atlamaları yapmaları durumunda, ipliklerin yapı içinde gösterebilecekleri enine genişleme etkisini ve dolayısıyla NPR etkisini daha yüksek şekilde gösterebileceklerini göstermiştir. İpliklerin kumaş yapısı içindeki bağlantı sayılarındaki artış, ipliklerin gerilim altında gösterebilecekleri enine genişleme etkilerini kısıtlayabileceğini göstermiştir.

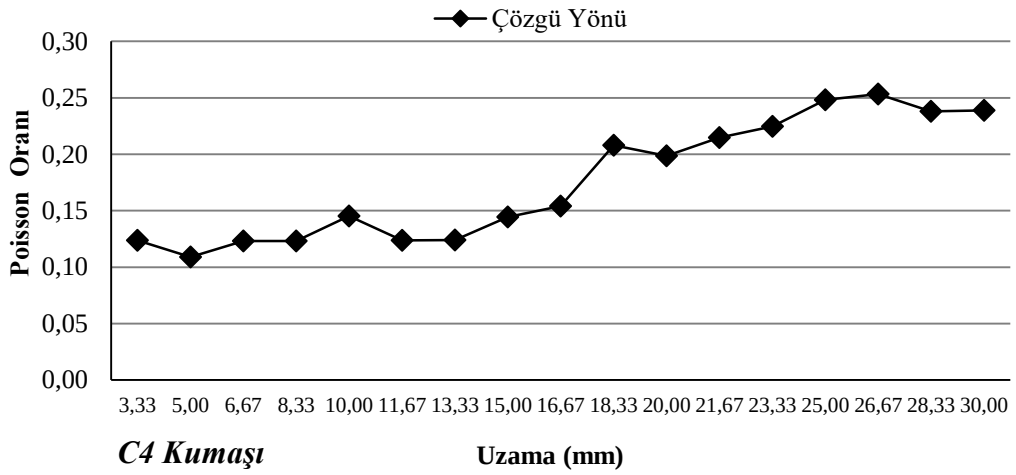
300/96 denye/filament iplik bileşenli sarmal katlı iplik yapısı (Y3) ve braid iplik yapısının (Y2), uzun iplik atlamaları yaptığı örgü yapısında kullanılmasıyla oluşturulan kumaşların çözgü yönlü NPR değerleri karşılaştırıldığında; C3 (Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (3,33 mm uzama altında) ≈ - 0,38 ve 18,33 mm uzamaya kadar görülen bir NPR etkisi) ve C2 (Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (3,33 mm uzama altında) ≈ - 0,51 ve 20 mm uzamaya kadar görülen bir NPR etkisi) kumaşlarının yaklaşık birbirlerine yakın uzama değerleri altında NPR verdiği görülmüştür.

Braid ve sarmal katlı gibi hacimli iplik yapılarının, kumaşa uygulanan gerilim altında, ipliklerin uzun atlamalar yaptığı örgü yapıları yaklaşık birbirine yakın (C2 için 20 mm ve C3 için 18,33 mm) uzama değerleri boyunca NPR etkisini sürdürebildikleri görülmüştür. Ancak braid yapılı ipliklerle dokunan kumaşın başlangıç gerilimi altında vermiş olduğu maksimum negatif Poisson oranı değerinin (C2 kumaşı için ≈ - 0,51) sarmal katlı iplikle dokunan kumaşa göre (C3 kumaşı için ≈ - 0,38) daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu sonucun, braid iplik yapılarının girişli (re-entrant) etkisinden kaynaklandığı (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, basımda-2022a) ve çözgü yönlü gerilim altında konvansiyonel yapılı çözgü ipliklerinin gerilmesiyle braid yapılı atkı ipliklerine uyguladıkları baskı sonucu kumaşın enine yönde genişlemesine ve bunun sonucunda kumaşın NPR etkisi vermesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bezayağı örgü yapılarında ise braid (A2 kumaşında; Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama altında) ≈ - 0,46) ve 16,67 mm uzamaya kadar görülen bir NPR etkisi) ve sarmal katlı (A3 kumaşında; Poisson değeri başlangıç gerilimi altında (1,67 mm uzama altında) ≈ - 0,33 ve 3,33 mm uzamaya kadar görülen bir NPR etkisi ve) ipliklerle dokunan kumaşlarda gösterdikleri NPR etkisinin devam ettiği uzama değerleri arasında daha büyük bir farklılığın(A2 için 16,67 ve A3 için 1,67 mm) olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu sonuç, örgü içindeki bağlantı (kesişim) miktarının artmasının ipliklerin kumaş içinde gösterebileceği enine genişleme etkisini sınırlayabileceğini göstermiştir.



Şekil 4.31. C4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi

Şekil 4.31' da, C4 kumaşının çözgü yönlü Poisson oranı – uzama eğrisi sunulmuştur. Sarmal katlı Y4 grubu ile dokunan C4 kumaşında gerilim altında çözgü yönünde NPR etkisi elde edilemediği görülmektedir. Uzama arttırıldıkça C4 kumaşının Poisson oranının pozitif yönde arttığı, 30 mm uzama altında en yüksek ≈+0,25 Poisson oranı verdiği görülmüştür. Bu değerin, A4 kumaşında görülen değere göre (30 mm uzama altında en yüksek ≈+0,98 Poisson oranı) oldukça düşük pozitif Poisson oranı değeri olduğu görülmüştür (A4 kumaşı gibi yüksek pozitif Poisson oranı değerine çıkmamıştır.). Bu sonucun, örgü yapısının etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan C3 (Şekil 4.30) ve C4 (Şekil 4.31) kumaşının çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, sarmal katlı Y3 (8x300/96 denye/filament iplik bileşenli 8 katlı sarmal iplik yapısı) ipliklerle dokunmuş C3 kumaşında NPR etkisi (18,33 mm uzamaya kadar) elde edilmiş, ancak Y4 (4x300/96 denye/filament teksture poliester + 4x 85/36 denye/filament HT poliester bileşenli 8 katlı sarmal iplik yapısı) grubu sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan C4 kumaşında çözgü yönünde NPR etkisi elde edilemediği gözlenmiştir. Benzer sonuç, bezayağı örgü ile dokunan A3 (Şekil 4.6) ve A4 (Şekil 4.8) kumaşlarında da gözlenmiştir.

Bu sonuç, daha hacimli ve kalın yapıda olan Y3 (2757 denye) sarmal katlı yapılı atkı ipliğinin, çözgü yönlü kumaş gerilimi altında kumaşta enine yönde bir genişleme etkisi göstererek kumaşın auxetic bir davranış göstermesini sağladığı görülmüştür.

Y3 ipliğine göre daha ince olan Y4 (1615 denye) sarmal katlı atkı ipliğinin kumaş yapısı içinde enine genişleme etkisi meydana getiremediği görülmüştür.

Elde edilen bu sonuç, sarmal katlı ipliği oluşturan iplik bileşenlerinin ve buna bağlı olarak iplik kalınlık ve hacimliliğinin, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir (Şekil 3.1).

Ayrıca, Y3 ve Y4 ipliklerini oluşturan bileşen ipliklerin iplik hacimliliğine ve dolayısıyla kumaş kalınlığına olan etkileri değerlendirildiğinde, Çizelge 3.4' den daha hacimli bir yapıda olan kalın Y3 ipliğiyle dokunan C3 kumaşının 1,76 mm kumaş kalınlık değeri, daha ince Y4 ipliğiyle dokunan C4 kumaşının 1,57 mm kumaş kalınlık değeri verdiği görülmektedir. Sarmal katlı ipliği oluşturan bileşenlerin özelliklerinin ve buna bağlı olarak ipliğin tutum özelliklerinin (sertlik, yumuşaklık, hacimlilik vb.) kumaşın auxetic performansını etkileyebileceği gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmada, farklı atkı ipliği özelliğine sahip ipliklerin atkı ipliği olarak kullanıldığı kumaşların dokunmasında kullanılan çözgü ipliği özelliklerinin de kumaşların auxetic performansı üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür. Farklı atkı ipliği yapılarının (braid ve sarmal katlı gibi hacimli iplik yapıları), A ve C grubu kumaşlar gibi konvansiyonel çözgü iplikleriyle ve B grubu kumaşı gibi braid yapılı çözgü iplikleriyle dokunmasıyla oluşturulan kumaş yapılarının auxetic performanslarının değerlendirildiği bu çalışmada, çözgüde konvansiyonel yapılı ipliklerin kullanılması durumunda, incelenen kumaş parametreleri için, kumaşın çözgü yönlü gerilim altında belirgin bir NPR etkisi göstererek auxetic bir performans gösterebileceği gözlemlenmiştir. Çözgü ipliklerinde braid ipliklerin kullanılması durumunda kumaşta NPR etkisinin genel olarak belirgin ve önemli ölçüde gözlemlenemediği görülmüştür.

5. SONUÇ

Auxetic bir özelliğe sahip dokuma kumaş oluşumu için çeşitli kumaş yapısal parametrelerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Deneysel çalışma kapsamında farklı yapısal parametrelere sahip atkı iplikleri kullanılarak dokunan kumaşlarda genel olarak çözgü yönlü kumaş gerilimi altında belirgin bir NPR etkisi ve dolayısıyla auxetic bir davranış elde edilebildiği gözlenmiştir.

- Atkıda braid yapılı ve çözgüde konvansiyonel yapılı ipliklerle dokunan bezayağı örgü yapılı kumaşlarda, çözgü yönlü gerilim altında kumaşların NPR etkisi göstererek, auxetic bir yapı gösterdikleri görülmüştür. Elde edilen NPR etkisinin, braid ipliği oluşturan bileşen ipliklerin filament sayılarından etkilendiği gözlemlenmiştir.

- Braid atkı iplikleriyle dokunan kumaşların çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, yüksek filament sayısına sahip (300/96 denye/filament) iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan kumaşın, düşük filament sayısına sahip (300/10 denye/filament) iplik bileşenli braid atkı iplikleriyle dokunan kumaşa göre daha yüksek NPR değeri verdiği ve bu NPR etkisinin yüksek uzama değerleri altında da devam ettiği görülmüştür.

Elde edilen bu sonuç, braid ipliği oluşturan iplik bileşenini oluşturan filament sayılarının, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir. 300/10 denye/filament iplik bileşenli braid iplik ve 300/96 denye/filament iplik bileşenli braid iplik yapıları incelendiğinde, filament sayısı yüksek olan bileşen iplikli braid iplik yapısının daha yumuşak ve hacimli bir yapı sergilerken, filament sayısı düşük olan bileşen iplikli braid iplik yapısının daha sert bir yapı göstermesinin bu duruma sebep olabileceği öngörülebilir.

- Braid ipliği oluşturan bileşenlerin özelliklerinin (filament sayısı gibi) ve dolayısıyla ipliğin tutum özelliklerinin (sertlik, yumuşaklık, hacimlilik vb.) kumaşın auxetic performansını etkileyebileceği gözlemlenmiştir.

- Sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan kumaşların çözgü yönlü Poisson değerleri karşılaştırıldığında, daha hacimli ve kalın yapıda olan sarmal katlı yapılı atkı ipliğinin,

çözgü yönlü kumaş gerilimi altında, düşük uzama değeri altında, kumaşta enine yönde bir genişleme etkisi göstererek kumaşın auxetic bir davranış göstermesini sağladığı görülmüş, ancak daha ince olan sarmal katlı atkı ipliğinin kumaş yapısı içinde enine genişleme etkisi meydana getiremediği görülmüştür. Bu sonuç, daha hacimli ve kalın yapıda olan sarmal katlı yapılı atkı ipliğinin, çözgü yönlü kumaş gerilimi altında kumaşta enine yönde bir genişleme etkisi göstererek kumaşın auxetic bir davranış göstermesini sağladığı görülmüştür. Daha ince olan sarmal katlı atkı ipliğinin kumaş yapısı içinde enine genişleme etkisi meydana getiremediği görülmüştür.

Elde edilen bu sonuç, sarmal katlı ipliği oluşturan iplik bileşenlerinin özelliklerinin ve buna bağlı olarak iplik kalınlık ve hacimliliğinin, kumaşın auxetic davranışını etkileyebileceğini göstermiştir.

-Kumaşı oluşturan braid ve sarmal katlı iplik yapılarının kumaşın NPR etkisi üzerindeki etkisi karşılaştırıldığında, sarmal katlı hacimli bir iplik yapısının dokuma kumaş oluşumunda atkı ipliği olarak kullanıldığı kumaş yapısında, çözgü yönlü gerilim altında belirli bir uzama değerine kadar NPR etkisinin elde edildiği görülmüş, ancak bu NPR etkisinin braid atkı ipliği ile dokunan kumaş yapısıyla karşılaştırıldığında, oldukça düşük uzama değerlerinde kaldığı görülmüştür.

Bu sonucun, braid iplik yapılarının girişli (re-entrant) etkisinden kaynaklandığı (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, basımda-2022a) ve çözgü yönlü gerilim altında konvansiyonel yapılı çözgü ipliklerinin gerilmesiyle braid yapılı atkı ipliklerine uyguladıkları baskı sonucu kumaşın enine yönde genişlemesine ve bunun sonucunda kumaşın daha belirgin bir NPR etkisi vermesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Kumaş yapısında atkı ipliği olarak lateks yapı bileşeninin kullanılmasıyla, gerilim altında kumaşın hem çözgü hem de atkı yönünde belirgin bir NPR etkisi elde edilebileceği görülmüş olup, kumaştan elde edilen NPR etkisinin atkı ipliği olarak atılan lateks ve konvansiyonel iplik oranlarına göre değiştiği görülmüştür. Yapı bileşeni olarak atkıda kullanılan monofilament lateksin kumaşın gerilim altında NPR etkisi göstermesine katkı sağlayabileceği görülmüştür.

- Kumaşların atkı yönlü gerilim altında genellikle pozitif Poisson oranı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama değişimleri incelendiğinde iki farklı şekilde eğilim gösterdikleri gözlemlenmiştir. Kumaşların atkı yönlü Poisson oranı – uzama eğilimlerindeki bu durumun, atkı iplik kalınlıklarının etkisinden kaynaklanabileceği öngörülmüştür.

Kalın atkı ipliği (braid iplik ve sarmal katlı iplik) ile dokunan kumaş yapılarında, kumaşa uygulanan uzama arttıkça; ilk başlangıç değeri pozitif değerde olan kumaş Poisson oranında düşme şeklinde olan bir eğilim elde edilirken,

İnce atkı ipliği (braid iplik ve sarmal katlı iplik) ile dokunan kumaş yapılarında, kumaşa uygulanan uzama arttıkça; ilk olarak pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde olan eğilim gözlenmiştir.

Kalın atkı ipliği kullanılması durumunda gözlemlenen ilk başlangıç değeri pozitif değerde olan kumaş Poisson oranında düşme şeklinde olan eğilimin, kumaşın atkı yönlü gerilim altında, gerilim arttıkça kumaştaki enine yönde daralma miktarındaki azalma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonucun, gerilim uygulanan kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişimin artmaya devam etme (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017) etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnce atkı ipliği kullanılması durumunda gözlemlenen pozitif yönde bir Poisson oranı artışı ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra Poisson oranı azalışı şeklinde olan eğilimin, sırasıyla; gerilim arttıkça kumaşta enine yöndeki daralma miktarındaki artış etkisinden ve uzama artmaya devam ettirildikçe belirli bir değerden sonra kumaş yapısında birbirine bağlanan ipliklerin kilitlenmesi nedeniyle kumaş eni yönündeki gerilme daha fazla değişim göstermezken (daralmazken), boyuna yöndeki değişimin artmaya devam etme (Ezazshahabi, Varkiyani ve Saharkhiz, 2017) etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Deneysel çalışmada, farklı atkı ipliği özelliğine sahip ipliklerin atkı ipliği olarak kullanıldığı kumaşların dokunmasında kullanılan çözgü ipliği özelliklerinin de kumaşların auxetic performansı üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür.

Farklı atkı ipliği yapılarının (braid ve sarmal katlı gibi hacimli iplik yapıları), konvansiyonel çözgü iplikleriyle ve braid yapılı çözgü iplikleriyle dokunmasıyla oluşturulan kumaş yapılarının auxetic performansları değerlendirildiğinde, çözgüde konvansiyonel yapılı ipliklerin kullanılması durumunda, incelenen kumaş parametreleri için, kumaşın çözgü yönlü gerilim altında belirgin bir NPR etkisi göstererek auxetic bir performans gösterebileceği gözlemlenmiştir.

Çözgü ipliklerinde braid ipliklerin kullanılması durumunda kumaşta NPR etkisinin genel olarak belirgin ve önemli ölçüde gözlemlenemediği görülmüştür. Ancak, çözgü ipliğinde braid iplik yapısının kullanıldığı ve atkı ipliği olarak hacimli sarmal katlı iplik ve lateks yapı bileşenlerinin 1 +1 düzeninde kullanılmasıyla çözgü ve atkı yönlerinde yüksek uzama değerleri altında NPR etkisinin elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

- Dokuma örgü yapılarının kumaşların auxetic performansı üzerindeki etkisi incelendiğinde, ipliklerin kumaş içinde uzun atlamalar yaparak konumlanması durumunda, daha yüksek uzama değerleri altında NPR etkisini sürdürdüğü gözlenmiştir. İpliklerin kumaş içinde yaptığı bağlantı (kesişme) sayısı arttıkça, kumaşa uygulanan gerilim altında ipliğin kumaş içinde gösterebileceği enine genişleme etkisini ve dolayısıyla NPR etkisini azaltabileceği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ipliklerin dokuma örgü yapısı içinde yaptığı bağlantı (kesişim) miktarının arttırılmasının ipliklerin kumaş içinde gösterebileceği enine genişleme etkisini sınırlayarak, kumaşın auxetic performansını düşürebileceğini göstermiştir.

- Braid ve sarmal katlı iplikler gibi hacimli iplik yapılarının, kumaşa uygulanan gerilim altında, ipliklerin uzun atlamalar yaptığı örgü yapılarında yaklaşık birbirine yakın uzama değerleri boyunca NPR etkisini sürdürebildikleri görülmüştür. Ancak braid yapılı ipliklerle dokunan kumaşın başlangıç gerilimi altında vermiş olduğu maksimum negatif Poisson oranı değerinin sarmal katlı iplikle dokunan kumaşa göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu sonucun, braid iplik yapılarının girişli (re-entrant) etkisinden kaynaklandığı (Akgun, Suvari, Eren ve Yurdakul, basımda-2022a) ve çözgü yönlü gerilim altında konvansiyonel yapılı çözgü ipliklerinin gerilmesiyle braid yapılı atkı ipliklerine uyguladıkları baskı sonucu kumaşın enine yönde genişlemesine ve bunun sonucunda kumaşın daha belirgin bir NPR etkisi vermesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar özetlendiğinde, braid ve sarmal katlı hacimli iplik yapılarının ve monofilament lateks yapı bileşeninin atkı ipliği olarak ve çözgü ipliğinde konvansiyonel yapılı iplikler kullanılarak dokunan kumaşlarda NPR etkisinin elde edilebileceği görülmüştür. Braid ve sarmal katlı atkı iplikleriyle dokunan kumaşlarda çözgü yönünde NPR etkisi gözlemlenirken, lateks yapı bileşenli kumaşlarda hem çözgü hem de atkı yönünde NPR etkisi gözlemlenmiştir. Kumaşlardan elde edilen NPR etkisinin, ipliklerin yapısal özelliklerinden (iplikleri oluşturan filament sayılarından, ipliklerin kalınlık, hacimlilik, yumuşaklık/sertlik özelliklerinden) etkilendiği görülmüştür. Kumaşların genelinde, atkı yönlü gerilme altında NPR etkisi elde edilememiştir. Ancak, atkı yönlü gerilim altında kumaşların Poisson oranı-uzama eğilimlerinin iki farklı şekilde eğilim gösterdiği görülmüş olup, bu durumun kumaşı oluşturan atkı ipliği kalınlıklarından etkilendiği gözlemlenmiştir. Çözgü ipliğinde braid yapılı iplik kullanılması durumunda genel olarak belirgin bir NPR etkisinin elde edilemediği, ancak, çözgü ipliğinde braid iplik yapısının kullanıldığı durumda atkı ipliğinde kullanılan braid ve sarmal katlı ipliklerin aralarına 1 + 1 yerleşimli olarak lateks yapı bileşeni kullanılması durumunda (braid iplik + monofilament lateks veya sarmal katlı iplik + monofilament lateks gibi) kumaşın NPR etkisi gösterebileceği gözlemlenmiştir. Yapı bileşeni olarak atkıda kullanılan monofilament lateksin kumaşın gerilim altında NPR etkisi göstermesine katkı sağlayabileceği görülmüştür. Kumaşın örgü yapısının (ipliklerin kumaş içindeki bağlantı ve atlama sayılarının) NPR değerlerini etkilediği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Akgun, M., Eren R., Suvari F. ve Yurdakul T. (2021a). Effect of different yarn combinations on auxetic properties of plied yarns. *AUTEX Research Journal*, https://doi.org/10.2478/aut-2021-0045

Akgun, M., Eren, R., Suvari, F. ve Yurdakul, T. (2021b). Investigation of the effect of pique weave on auxetic performance and related fabric properties. The Journal of The Textile Institute, https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1983978

Akgun, M., Suvari, F., Eren, R. ve Yurdakul, T. (2021c, 18-19 June,). Auxetic performance analysis of a partial stretch woven fabric structure. *8. International Fiber and Polymer Research Symposium* (pp. 243-245), Eskişehir

Akgun, M., Suvari, F., Eren R. ve Yurdakul T. (basımda-2022a). Investigation of auxetic performance and various physical properties of fabrics woven with braid yarns, *Textile and Apparel*.

Akgun M., Suvari F., Eren R. ve Yurdakul T. (2022b, 13-14 May). Investigation of the usability of cord weave structures in auxetic woven fabric design. *10. International Fiber and Polymer Research Symposium* (pp.13-17), İstanbul

Alderson, A. (1999). A triumph of lateral thought. *Chemistry and Industry, 10*, 384–91.

ASTM D1777-96. (2007). *Test method for thickness of textile materials*.

ASTM D3776-96. (2011). *Standard test methods for mass per unit area (weight) of fabric*.

Attard, D. ve Grima, J. N. (2008). Auxetic behaviour from rotating rhombi. *Physica Status Solidi B - Basic Solid State Physics, 245(11),* 2395–2404. https://doi. org/ 10.1002/pssb.200880269

Bhullar, S. (2015). Three decades of auxetic polymers: A review. *e-Polymers, 15(4),* 205–215. https://doi.org/10.1515/epoly-2014-0193

Cao1, H., Zulifqar, A., Hua, T. ve Hu, H. (2019). Bi-stretch auxetic woven fabrics based on foldable geometry. *Textile Research Journal, 89*(13), 2694–2712, https://doi.org/10.1177/0040517518798646

Carneiro, V. H., Meireles, J. ve Puga, H. (2013). Auxetic materials – A review. *Materials Science, 31*(4), 561-571. https://doi.org/10. 2478/s13536-013-0140-6

Choi J. B. ve Lakes, R. S. (1991). Design of a fastener based on negative poisson's ratio foam. *Cellular Polymers, 10*, 205-212.

Choi, J. B. ve Lakes, R. S. (1992). Nonlinear properties of polymer cellular materials with a negative Poisson's ratio. *Journal of Materials Science, 27*(17), 4678–4684. https://doi.org/10.1007/BF01166005

Darja R., Tatjana R. ve Alenka, P. C. (2013). Auxetic textiles. *Acta Chim. Slov., 60*, 715–723.

Douglas, W. A. (1964). *Braiding and braiding machinery*. Eindoven: Centrex Publishing Company.

Du, Z. Q., Zhou, M., He, L. E. ve Liu, H. L. (2015). Study on negative Poisson's ratio of auxetic yarn under tension: Part 2 – Experimental verification. *Textile Research Journal, 85*(7), 768-774.

Evans, K. E., Nkansah, M. A., Hutchinson, I. J. ve Rogers, S. C. (1991). Molecular network design. *Nature, 353* (6340), 124-125. https://doi. org/10.1038/353124a0

Evans, K. E. ve Alderson, K. L. (2000a). Auxetic materials: The positive side of being negative. *Engineering Science and Education Journal, 9*(4), 148–154. https://doi.org/10.1049/esej:20000402

Evans, K. ve Alderson, A. (2000b). Auxetic materials: Functional materials and structures from lateral thinking. *Advanced Materials, 12*(9), 617– 628. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521- 4095(200005)12:93.0.CO;2-3

Evans, K. E. ve Alderson, A. (2002). Molecular origin of auxetic behaviour in tetrahedral framework silicates. *Phys. Rev. Lett., 89*(22), 225503.

Ezazshahabi, N., Varkiyani, S. M. H. ve Saharkhiz, S. (2017). Prediction of Poisson's ratio of worsted woven fabrics considering fabric extension in various directions. *Indian Journal of Fibre & Textile Research, 42*, 420-425.

Gaspar, N., Ren, X.J., Smith, C.W., Grima, J.N. ve Evans, K.E. (2005). Novel honeycombs with auxetic behaviour. *Acta Mater., 53*, 2439–2445.

Ge, Z., Hu, H. ve Liu, S. (2016). A novel plied yarn structure with negative Poisson's ratio. *The Journal of the Textile Institute, 107*(5), 578-588.

Grima, J. N., Alderson, A. ve Evans, K. E. (2004). Negative Poisson's ratios from rotating rectangles. *Computatıonal Methods in Science and Technology, 10*(2), 137-145.

Grima, J. N. ve Evans, K. E. (2006). Auxetic behavior from rotating triangles. *Journal of Materials Science, 41*, 3193–3196. https://doi. org/ 10.1007/s10853-006-6339-8

Grima, J. N., Farrugia, P. S., Gatt, R. ve Attard, D. (2008). On the properties of auxetic meta-tetrachiral structures. *Phys. Stat. Sol. (b), 245(3)*, 511–520. https://doi. org/10.1002/pssb.200777704

Grima, J. N., Attard, D., Gatt, R. ve Cassar, R. N. (2009). A novel process for the manufacture of auxetic foams and for their reconversion to conventional form. *Advanced Engineering Materials, 11*(7), 533-535. https://doi.org/10.1002/adem.200800388

Grima, J. N., Manicaro, E. ve Attard D. (2010). Auxetic behaviour from connected different-sized squares and rectangles. *R. Soc. A Math Phys Eng Sci., 467*, 439–58.

Hook, P. B. (2003). *Auxetic mechanisms, structures & materials* [Ph.D. Thesis]. School of Engineering and Computer Science, University of Exeter, Exeter, UK.

Hu, H., Wang, Z. Y. 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, H., ve Zulifqar, A. (2017). Auxetic textile materials – A review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 1*(1), 1–15. https://doi.org/10.15406/jteft.2017.01.00002

International Organization for Standardization. (2013). *Textiles – Tensile properties of fabrics – Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method (Standard No. ISO 13934-1).*

Jiang, N. ve Hu H. (2018). A study of tubular braided structure with negative Poisson's ratio behaviour. *Textile Research Journal 88*(24), 2810–2824.

Jiang, N., Hu, H. (2019). Auxetic yarn made with circular braiding technology. *Physica Status Solidi B*, 256, 1-12.

Karaca Bayraktar, E. (1999). *İpek, Poliamid 6, Poliester, Polipropilen Ameliyat İpliklerinin Monofilament ve Çapraz Örgülü (Trez) Yapılarının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi* [Doktora Tezi]. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Ko, F. K., Pastore, C. M. ve Head, A. A. (1989). *Handbook of ındustrial braiding*. Atkins & Pearce Inc., Covington.

Liu, Y. ve Hu, H. (2010). A review on auxetic structures and polymeric materials. *Scientific Research and Essays, 5*(10),1052-1063.

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

Liu, S., Du, Z., Xie, K., Liu, G. ve Yang, S. (2018). A novel interlaced-helical wrapping yarn with negative Poisson's ratio. *Fibers and Polymers, 19*, 2411-2417.

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*, 651–655.

Ng, W. S. ve Hu, H. (2018). Woven fabrics made of auxetic plied yarns. *Polymers, 10*(2), 226, 1-19

Shahabi, N. E., Saharkhiz, S. ve Varkiyani, S. M. H. (2013). Effect of fabric structure and weft density on the poisson's ratio of worsted fabric. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 8*(2), 63–71.

Shahabi, N. E., Mousazadegan, F., Varkiyani, S. M. H. ve Saharkhiz, S. (2014). Crimp analysis of worsted fabrics in the terms of fabric extension behaviour. *Fibers and Polymers 15*(6), 1211–1220.

Shukla, S., Behera, B. K., Mishra, R. K., Tichý, M., Kolář, V. ve Müller, M. (2022). Modelling of auxetic woven structures for composite reinforcement. *Textiles, 2*, 1–15. https://doi.org/10.3390/textiles2010001

Sloan, M., Wright, J. ve Evans, K. (2011). The Helical auxetic yarn—A Novel structure for composites and textiles; geometry, manufacture and mechanical properties. Mechanics of Materials, 43, 476–486.

Sun, H., Pan, N. ve Postle, R. (2005). On The Poisson's ratios of a woven fabric. *Composite Structures 68*(4), 505–510.

Suvari, F., Akgun, M., Eren, R. ve Yurdakul, T. (2021). Determination of deformation behavior of woven fabrics under stress using image processing method. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 26*(2), 661-678.

Ugbolue, S. C., Kim, Y. K., Warner, S. B., Fan, Q., Yang, C., Kyzymchuk, O. Ve Feng, Y. (2010). The formation and performance of auxetic textiles. Part I: Theoretical and technical considerations. *The Journal of the Textile Institute, 101*(7), 660–667. https://doi.org/10.1080/00405000902733790

Ugbolue, S. C., Kim, Y. K., Warner, S. B., Fan, Q., Yang, C., Kyzymchuk, O., Feng, Y. ve Lord, J. (2011). The formation and performance of auxetic textiles. Part II: geometry and structural properties. *The Journal of The Textile Institute 102*(5), 424–433.

Uzun, M. (2010). Negative Poisson ratio (auxetic) materials and their applications. *The Journal of Textiles and Engineers, 17*(77), 13-18.

Uzun, M. (2012). Mechanical properties of auxetic and conventional polypropylene random short fibre reinforced composites", *Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20, 5*(94), 70-74.

Vysanskav, M. ve Vintrova, P. (2013). Auxetic woven fabrics-Pores' parameters observation. *Journal of Donghua University, 30*, 416–420.

Wright, J. L., 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

Yang, W., Li, Z. M., Shi, W., Xie, B. H. ve Yang, M. B. (2004). Review on auxetic materials. *Journal of Materials Science*, *39*(10), 3269–3279. https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000026928.93231.e0

Yao, Y. T., Uzun, M. ve Patel, I. (2011). Workings of auxetic nano-materials. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 49(2), 585– 593.

Zulifqar, A., Hua, T. ve Hu, H. (2018). Development of uni-stretch woven fabrics with zero and negative Poisson's ratio. *Textile Research Journal*, *88*(18), 2076–2092, https://doi.org/10.1177/0040517517715095

Zulifqar, A., ve Hu, H. (2019a). 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., ve Hu, H. (2019b). Development of bi-stretch auxetic woven fabrics based on re-entrant hexagonal geometry. *Physica Status Solidi (b)*, *256*(1), 1800172–1800178. https://doi.org/10.1002/ pssb.201800172