



MİMARLIKTA ÖKSETİK ÇALIŞMALARININ YÖNELİMİNE DAİR BİR İNCELEME

AN INVESTIGATION ON THE DIRECTIONS OF ARCHITECTURE AUXETIC STUDIES

Gizem KARAOĞLU ÇİTKEN¹
Asena Kumsal ŞEN BAYRAM²



ORCID: G.K.Ç 0000-0002-2228-9461
A.K.Ş.B. 0000-0002-1131-6073

Corresponding author/Sorumlu yazar:

¹ Gizem Karaoğlu Çitken

Maltepe University, Türkiye

E-mail/E-posta: gizemkaraoglu@maltepe.edu.tr

² Asena Kumsal Şen Bayram

Maltepe University, Türkiye

E-mail/E-posta: asenakumsalsenbayram@maltepe.edu.tr

Received/Geliş tarihi: 06.10.2024

Benzerlik Oranı/Similarity Ratio: %2

Revision Requested/Revizyon talebi:

14.11.2024

Last revision received/Son revizyon teslimi:

27.11.2024

Accepted/Kabul tarihi: 14.12.2024

Etik Kurul İzni/ Ethics Committee Permission:

Çalışmada etik kurul onayı gerektiren bir unsur bulunmamaktadır. / There is no element in the study that requires ethics committee approval.

Citation/Atf: Karaoğlu Çitken, G. & Şen Bayram, A.K. (2025). Mimarlıkta Öksetik Çalışmalarının Yönelimine Dair Bir İnceleme. The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 15 (1), 272-281. <https://doi.org/10.7456/tojdac.1562791>

Öz

Öksetik (auxetic) geometri veya malzemeler esnek ve uyarlanabilir şekilde deforme olarak başlangıç hallerine dönme eğilimine sahiptir. Negatif Poisson oranı olarak da tanımlanan bu özellik sayesinde, öksetik geometri ve malzemeler, gerildiklerinde her yönde genişlemekte ve sıkıştırıldığında her yönde büzülmetedir. Birçok sektörde karşımıza çıkan bu kavram değişken davranış kabiliyeti nedeniyle mimarlık alanındaki çalışmalarda da yer edinerek, tasarım ve üretim tabanlı çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Araştırmada, sözü edilen çalışmaların güncel araştırma alanlarını tespit etmek amacıyla yapılan bir literatür araştırmasının sonuçları tartışılmaktadır. Bu kapsamda Web of Science veri tabanından ‘auxetic’ anahtar kelimesi ile güncel çalışmalara odaklanabilmek amacıyla son 5 yılın makaleleri araştırılarak en çok atıf alan 50 yayım, belirlenen malzeme, üretim tekniği, örüntü, davranış ve ölçek parametreleri doğrultusunda irdelenmiştir. Analizin sonucunda veri yoğunluğunun çoktan aza örüntü, malzeme, davranış, üretim tekniği ve ölçek sıralamasında olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, biçim ile malzeme arayışlarının birbirini desteklediği ayrıca davranış çalışmalarıyla dış etkilere verilen kinetik tepkilerin yoğunlukta olduğu, güncel tasarım ve fabrikasyon yöntemleri ile araştırmalarda sıklıkla karşılaşıldığı ve ölçek çalışmalarına yoğunluk verilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öksetik, Negatif Poisson Oranı, Öksetik Malzeme, Öksetik Davranış, Örüntü.

Abstract

Auxetic geometry or materials have the tendency to return to their initial state by deforming flexibly and adaptively. Thanks to this property, also defined as negative Poisson's ratio, auxetic geometries and materials expand in all directions when stretched and contract in all directions when compressed. This concept, which is encountered in many sectors, has been the subject of many design and production based researches in the field of architecture due to its variable behaviour capability. In this study, the results of a literature survey conducted to identify the current research areas of these studies are discussed. In this context, in order to focus on current studies with the keyword ‘auxetic’ from the Web of Science database, the articles of the last 5 years were searched and the 50 most cited publications were examined in line with the parameters of material, production technique, pattern, behaviour and scale. As a result of the analysis, it was determined that the data density is in the order of pattern, material, behaviour, production technique and scale. In this case, it has been observed that form and material searches support each other, behavioural studies and kinetic reactions to external effects are intense, current design and fabrication methods are frequently encountered in researches and scale studies should be intensified.

Keywords: Auxetics, Negative Poisson's Ratio, Auxetic Materials, Auxetic Behaviour, Pattern.



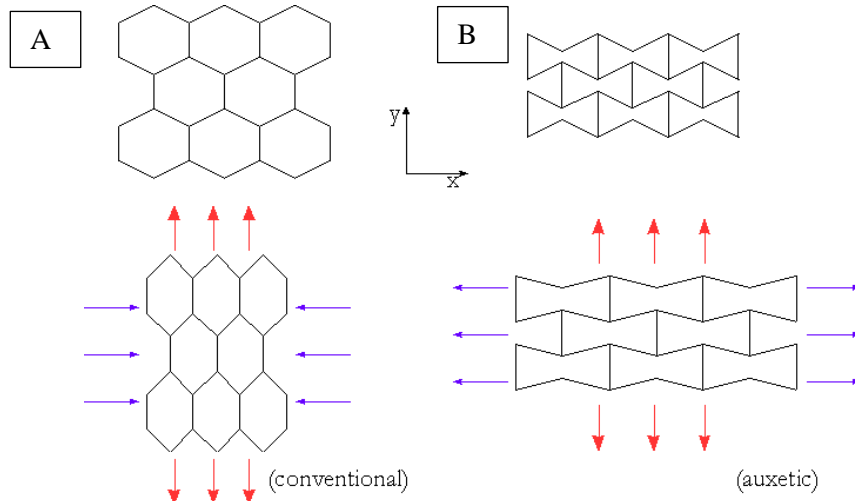
GİRİŞ

Tipik olarak bilinen malzemeler pozitif Poisson oranına sahiptir, yani germe eyleminin büzülerek, sıkıştırma eyleminin ise şişkinliğe neden olması beklenmektedir. Ancak negatif Poisson oranına sahip olan öksetik (auxetic) olarak adlandırılan malzemeler gerildiklerinde daha geniş ve sıkıştırıldıklarında daha dar olma gibi alışılmadık dışında bir özelliğe sahiptir (Evans, vd., 1991). Bu alışılmadık dışında davranışlar sayesinde öksetik strüktürler, mimarlık, havacılık, otomotiv, tekstil gibi birbirinden farklı alanlarda kullanılmaktadır. Çeşitli araştırma alanlarında aktif olarak araştırılan ve uygulanan öksetik yapılar; senklastik eğrilikleri sayesinde kubbe benzeri yüzeyler oluşturabilmektedir. Basınç dayanımları sayesinde hem sıkıştırma hem de kayma kuvvetlerine karşı koyabilmektedir. Sıkışma ve genişleme kapasiteleri yapıların gözenekliliklerinde değişkenliğe sebep olmaktadır. Ayrıca başka cisimlerden alınan enerjyi emme ve dağıtma gibi temel özelliklere sahiptir (Liu & Hu, 2010).

Geniş ve karmaşık kapsayıcılığına tezat olarak basit anlaşılabilen ve üretilebilen öksetik strüktürlerin, birçok mimari probleme çözüm üretebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle araştırma kapsamında öksetik strüktürlerin güncel araştırmalarda ele alınışı araştırılarak, literatürde olan boşlukları tespit etmek amaçlanmıştır. Araştırma iki aşamalı bibliyometrik veri analizi ile ilerlemektedir. Birinci aşamada dizin güvenilirliğinin sağlanabilmesi amacıyla Web of Science veri tabanı ile 'auxetic' anahtar kelimesi kullanılarak 2020-2024 seneleri arasında, mimarlık ile ilişkili multidisipliner 15 başlık seçilerek en çok kullanılan anahtar kelimeler tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise elde edilen veriler doğrultusunda en çok atıf almış 50 makale analiz edilerek, ilk aşamada elde edilen 5 anahtar kelime kapsamında irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda öksetik kavramının güncel kaynaklarda hangi alanlarda yer aldığı gözlemlenmiş olup bu konudaki literatür boşlukları tespit edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Poisson oranı, belirli yönlere göre malzemenin uzatılması sırasında, enine daralmanın- uzunlaşmasına genişlemeye oranıdır (Baughman, vd., 1998). Bilinen malzemelerde bu oran pozitif sayılar ile nitelenirken öksetik malzemelerde ise negatiftir. Öksetik geometri ve malzemeler negatif Poisson oranına sahip olmaları sebebiyle gerildiklerinde her yönde genişlemekte ve sıkıştırıldıklarında her yönde büzülmektedir (Robertor & Herder, 2024). İki boyutlu petekler, üç boyutlu köpükler ve mikro gözenekli polimerler negatif Poisson oranına sahip malzemelere örnek olarak gösterilmektedir. Bu bağlamda bilinen altıgen petek geometrisi (bkz. Şekil 1A) pozitif Poisson oranına sahipken, şekil 1B'de gösterilen yeniden girişli (re-entrant) petek geometrisi negatif Poisson oranına sahip öksetik örneğidir (Evans, vd., 1991).



Şekil 1. Altıgen bal peteği geometrisi (A) Öksetik geometri (B) (Grima, 2000).

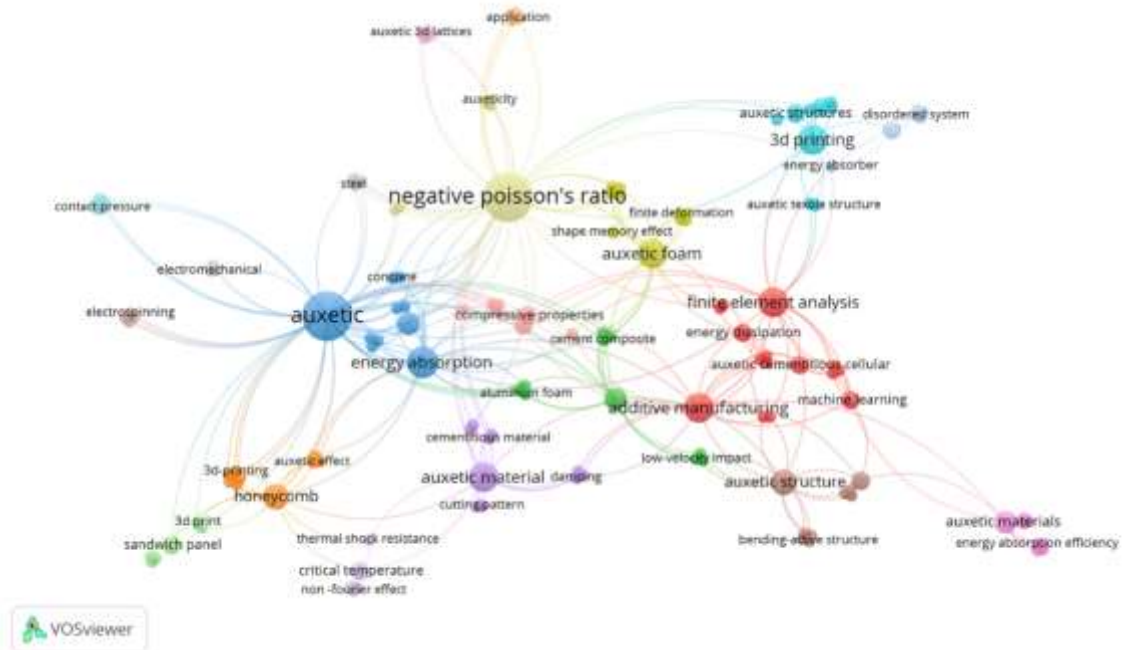
Öksetik strüktürler yük uygulandığında önemli miktarda hacimsel değişiklik gösterme kapasiteleri nedeniyle dilatasyonel malzemeler olarak da adlandırılmaktadır. (Mirante, 2015). Öksetik malzemelerin geçirgenlik, enerji emilimi, kırılmaya karşı direnç, çift eğrilikli kubbe oluşturarak bükülme kuvvetine uyum sağlama, hasarlanmaya karşı direnç sağlama, genişleme ve esneme kapasitesi, enerji soğurumu

ve dağıtımı (Liu & Hu, 2010) gibi temel özellikleri vardır. Bu özellikleri sayesinde mühendislik, sağlık, tekstil, havacılık ve otomotiv gibi birçok farklı uygulama alanlarına dâhil edilmiştir (Mirante, 2015). Bu bağlamda yarış arabalarındaki kanatlar (Bettini, vd., 2010), sandviç paneller (Yang, vd., 2013), kasklar (Sanami, vd., 2014), sargı bezleri, kurşun geçirmez yelekler (Öner, vd., 2020) gibi medikal malzemeler örnek olarak gösterilebilmektedir.

Öncesinde negatif Poission oranına sahip malzemeler olarak tanımlanan ve Evans vd. tarafından 1991 yılında öksetik kelimesi ile isimlendirilen strüktürler hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Çok yönlü davranış yeteneği sebebi ile mimarlık alanındaki çalışmalarda da yer bulan öksetik kavramı, tasarım ve üretim temelli birçok araştırmaya konu olmuştur. Günümüzde öksetik strüktürler, eskiye oranla, araştırmacılar tarafından daha yaygın olarak bilinse de literatürde araştırılması gereken boşluklar hâlâ mevcuttur. Bu araştırma kapsamında ise sözü edilen çalışmaların güncel araştırma alanlarını tespit etmek amacıyla bir literatür araştırması yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

Çalışmanın 1. aşamasında açık kaynaklara erişim kolaylığı ve yayınların dizin (index) güvenilirliği için araştırma kapsamında, Web of Science veri tabanından ‘auxetic’ anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonuçları ele alınmıştır. Güncel çalışmalara yoğunlaşmak için yalnızca son 5 yılda (2020-2024) yayınlanan makalelere odaklanılmıştır. Farklı araştırma konularına erişebilmek için arama sekmesinde mimarlık disiplini kapsamında olan *Material Science Multidisiplinary*, *Material Science Composites*, *Engineering Civil*, *Material Science Ceramics*, *Material Science Coatings Film*, *Engineering Manufacturing*, *Material Science Biomaterials*, *Multidisiplinary Science*, *Construction Building Technology*, *Computer Science Interdisciplinary Applications*, *Computer Science Information Systems*, *Green Sustainable Science Technology*, *Automation Control Systems*, *Computer Science Artificial Intelligence*, *Environmental Studies*, *Environmental Sciences* başlıkları belirlenmiştir.

Bu ölçütlerle yapılan arama sonucunda 09.05.2024 tarihi itibari ile erişilen 434 makale, bibliyometrik analizler için kullanılan, WOS viewer ara yüzüyle incelendiğinde, anahtar kelime analizi (bkz. Şekil 2) ile çalışmaların (1) *malzeme*, (2) *üretim tekniği*, (3) *örüntü*, (4) *davranış* ve (5) *ölçek* ana parametrelerine göre sınıflandırılabilirliği görülmüştür.



Şekil 2. Anahtar kelime analizi

Malzeme (1): Öksetik malzemeler, doğal veya insan yapımı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğada biyolojik (insan kaval kemiğinin süngerimsi dokusu, kedi derisi vb.) ve mineral (kadmium, arsenik monokristal vb.) olmak üzere iki biçimde bulunurlar. Sentetik malzemeler ise mekanik kuvvetler altında,

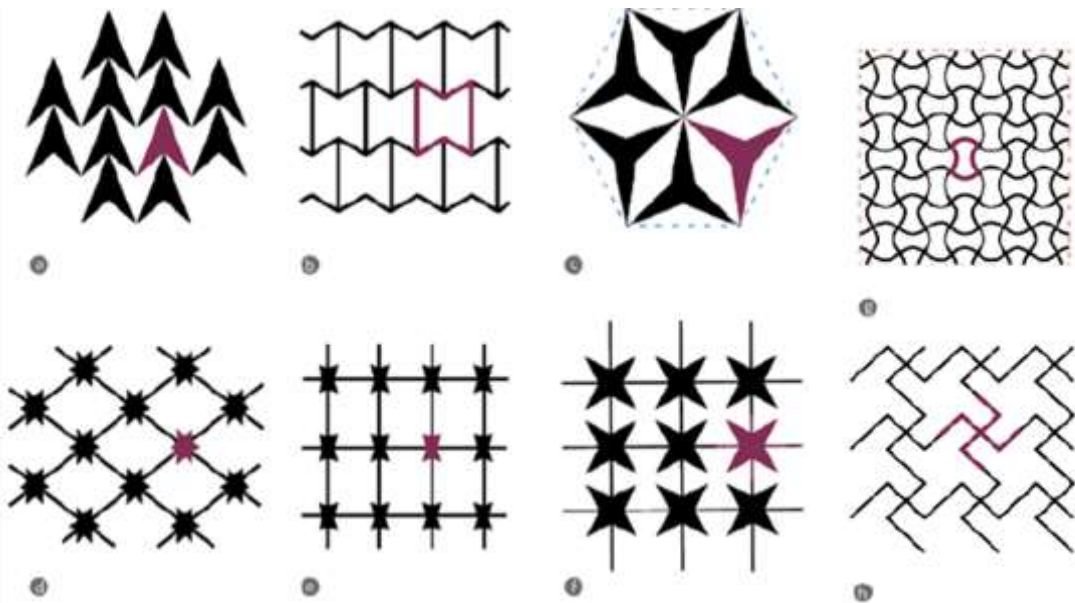
deformasyon yönü ile ilgili iki boyutlu (delikli levhalar vb.) ve üç boyutlu (gözenekli köpük vb.) malzemeler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Mazaev, vd., 2020). Hem iki hem de üç boyutlu girintili (re-entrant) formlar (Rad, vd., 2019), kiral formlar gibi malzemeler (bkz. Şekil 3) de mevcuttur.



Şekil 3. Öksetik malzemelerin sınıflandırılması (Mazaev, vd., 2020) yazarlar tarafından uyarlanmıştır.

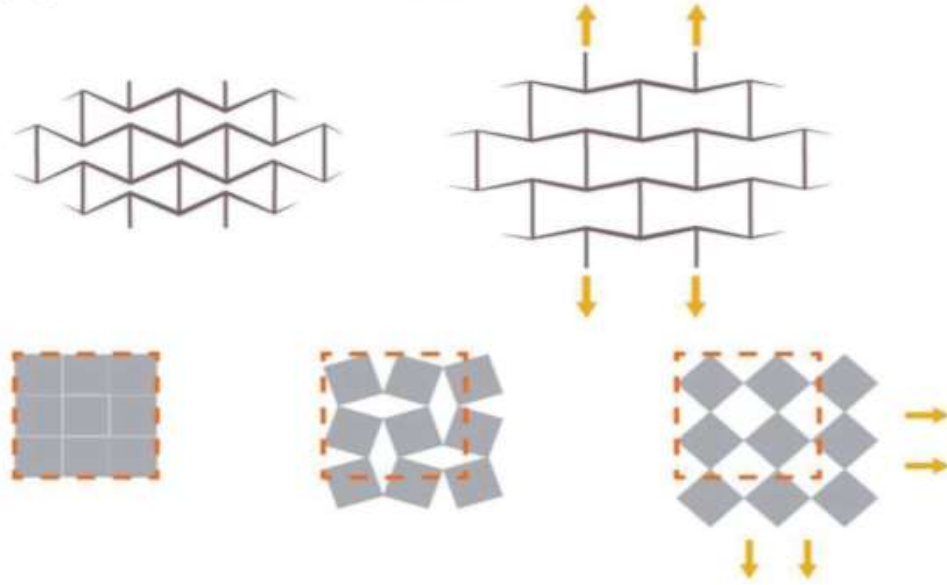
Üretim Tekniği (2): Öksetik tasarımlar boyutlarına ve özelliklerine bağlı olarak lazer kesim ve 3B yazıcılar ((delikli levha, kaburga tipi hücreler, girintili formlar, dönen birimler, kiral formlar), köpürtme (üç boyutlu köpükler), katlama-döndürme (levha- kağıt gibi iki boyutlu elemanları katlayarak, origami, tel katlama) gibi birçok farklı üretim tekniği kullanılarak oluşturulmaktadır (Mazaev, vd., 2020).

Örüntü (3): Öksetik kavram malzeme bileşimlerinden ziyade belirli uzamsal düzenlemelere dayanan ve bu nedenle hassas şekil, geometri, boyut, yönelim ve düzenlemelere sahip desenler halinde organize edilirler, performans ve davranışları ise içsel tasarımlarının doğrudan sonucudur (Naboni & Mirante, 2015). Öksetik formlar 2B ve 3B, kiral formlar (Spadoni, vd, 2.005), dönen rijit birimler / yarı rijit birimler, açılı-tabakalı kompozitler (Hine, vd., 1997) gibi birçok farklı matematiksel örüntüye (bkz. Şekil 4) sahiptir. Ayrıca üç boyutlu origami desenlerin de negatif Poisson oranına sahip olması sebebi ile, öksetik strüktürlerin mekânsal kapasitelerinin geniş bir yelpazede deneyimlenebilmesi açısından önem arz etmektedir (Mirante, 2015). Bu sınıflandırma, öksetik etkilerin geometrik açıdan nasıl elde edilebileceğinin öğrenilmesine ve özelliklerinin tahmin edilebilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 4. İki boyutlu öksetik örüntü örnekleri (Mirante,2015).

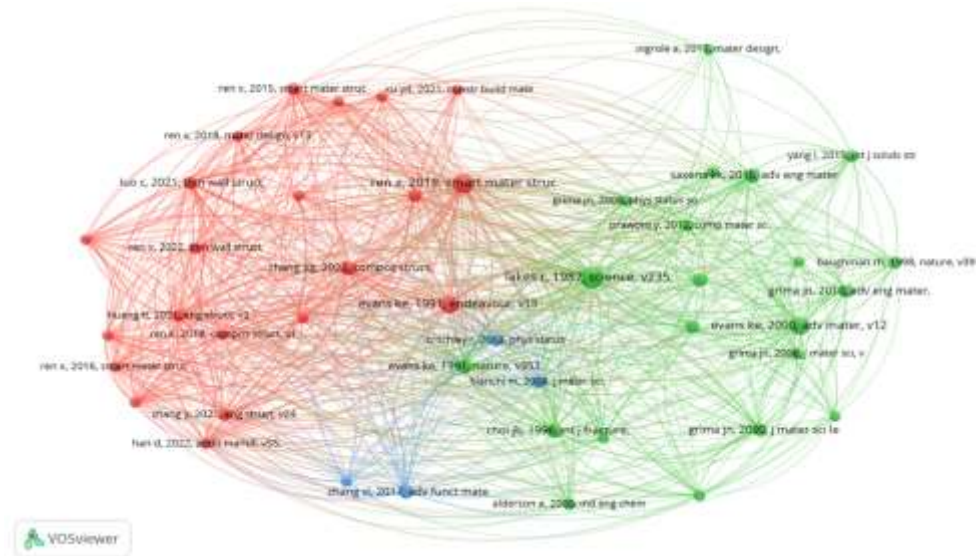
Davranış (4): Öksetik tasarımlar geleneksel malzemelerin tersine davranış (bkz. Şekil 5) sergilemektedir. Çekme kuvveti uygulandığında enine yönde genişledikleri ayrıca basınç kuvveti uygulandığında da enine yönde büzüldükleri görülmektedir (Yu, vd., 2018). Ayrıca daha iyi enerji emme dayanımı, çekme dayanımı, akustik davranışları, kırılma dirençleri gibi davranış özellikleri sayesinde otomotiv, havacılık, savunma, tıp gibi sektörlerde popüler olarak kullanılmaktadır (Alderson & Alderson, 2007). Bu öksetik davranışlar, malzeme özelliklerine bağlı olarak ısı, ışık, nem vb. doğal uyaranlara tepki vermek amacıyla kendi kendilerine ya da insan müdahalesi gibi manuel veya mekanik kuvvetler ile gerçekleşebilmektedir.



Şekil 5. Öksetik davranış örnekleri (Naboni & Mirante, 2015).

Ölçek (5): Öksetik özelliklere sahip malzemeler teorik olarak herhangi bir ölçekte bulunabilmektedir (Mirante, 2015). Çok geniş kullanım yelpazesine sahip olması nedeni ile de moleküler ve mikroyapıdan, makro boyutlara kadar çok farklı ölçekte mevcuttur (Naboni & Mirante, 2015). Güneş kırıcılar gibi yapı elemanlarından, şişme strüktürler gibi yapının bütün formuna kadar farklı mimari ölçeklerde karşılaşılmaktadır.

Araştırmanın 2. aşamasında ise çalışmaların güncel araştırma alanlarının tespit edilmesi amacıyla erişilen 434 makaleden en çok atıf alan ellisi (bkz. Şekil 6) tekrar VOSviewer ara yüzünde analiz edilmiştir.



Şekil 6. Yazar atıf analizi

BULGULAR

Yapılan iki aşamalı anahtar kelime ve atıf analizleri doğrultusunda, Web of Science veri tabanından erişilen 464 makalenin 50 en çok atıf alan makalesi (1) malzeme, (2) üretim tekniği, (3) örüntü, (4) davranış ve (5) ölçek parametreleri doğrultusunda sınıflandırılarak tablo 1’de değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Parametreler doğrultusunda değerlendirilen 50 makale

MAKALE	YAZAR	YIL	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1 Auxetic metamaterials and structures	Gao, YK.	2021	●	○	●	○	○
2 Cementitious cellular composites with auxetic behavior	Xu, YD., vd.	2020	●	○	●	●	○
3 A Study of Woven Fabrics Made of Helical Auxetic Yarns	Gao, YJ., Chen, XG.	2021	●	○	○	●	○
4 A novel cement-based auxetic foam composite: Experimental study	Fan, GZ., vd.	2022	●	○	○	○	○
5 Spindle vibration mitigation utilizing additively manufactured auxetic materials	Kim, J., vd.	2022	●	●	○	○	○
6 Machine learning accelerated design of auxetic structures	Wang, MH., vd.	2023	○	●	●	●	○
7 Auxetic cementitious composites (ACCs) with excellent compressive ductility: Experiments and modeling	Xu, YD., Savija, B.	2024	●	●	●	○	○
8 Accelerating Auxetic Metamaterial Design With Deep Learning	Wilt, JK., vd.	2020	●	○	○	●	○
9 Peanut shaped auxetic cementitious cellular composite (ACCC)	Xie, JB., vd.	2024	●	○	●	●	○
10 Fabrication and characterization of shape memory auxetic metamaterial	Yao, YT., vd.	2023	●	○	○	●	○
11 Development of a textile structure for multi-directional auxetic deformation	Li, Y., Yu, WR.	2022	●	○	●	●	○
12 Polybutylene Succinate Auxetic Membrane Produced by Solution Electrospinning	Bonakdar, MA., vd.	2023	●	○	○	●	○
13 Disordered auxetic metamaterials architected by random peanut-shaped perturbations	Wang, H., vd.	2021	○	●	●	●	○
14 Negative Poisson's ratio from pentagons: A new auxetic structure combining three different auxetic mechanisms	Winczewski, S., Rybicki, J.	2022	○	○	●	●	○
15 3D printing-based soft auxetic structures using PDMS-Ecoflex Hybrid	Kim, CH., vd.	2023	●	●	○	○	○
16 Mixed-Mode Multidirectional Poisson's Ratio Modulation in Auxetic 3D Lattice Metamaterials	Mukhopadhyay, T., Kundu, D.	2022	●	○	●	●	○



17	Instrumented Dynamic Penetration of Sandwich Panels with Auxetic and Non-Auxetic Core using Direct Impact Hopkinson Bar	Sleichrt, J., vd.	2023	●	●	●	○	○
18	Effect of gradient structure on additively manufactured auxetic and hybrid auxetic structure for energy absorption applications	Bagewadi, SS., Bhagchandani, RK.	2023	○	●	●	○	○
19	Fabrication and mechanical properties of metakaolin-based geopolymer composites reinforced with auxetic fabrics	Trindade, ACC., vd.	2023	●	○	●	○	○
20	Design of multi-auxetic microstructures for sound absorbing applications	Yoon, MH., Oh, JH.	2022	●	●	○	○	○
21	Auxetic frame with programmable strength and stiffness: Design, investigation and perspective	Jiang, W., vd.	2023	●	○	●	○	○
22	Investigation on Mechanical Properties of Additive Manufactured Hybrid Auxetic Structure	Bagewadi, SS., vd.	2022	●	●	●	●	○
23	Finite deformation and fractional order viscoelasticity of an auxetic foam	Stanisauskis, E., vd.	2022	●	○	○	●	○
24	MXene/polyurethane auxetic composite foam for electromagnetic interference shielding and impact attenuation	Kim, E., vd.	2021	●	○	○	○	○
25	A new auxetic structure with enhanced stiffness via stiffened elliptical perforations	Nedoushan, RJ., Yu, WR.	2020	●	○	●	●	○
26	Auxetic Two-Dimension Material With Modified Peanut Pattern	Wongchai, B.	2021	○	○	●	○	○
27	A novel auxetic sandwich panel for use in structural applications: Fabrication and parametric study	Park, EB., vd.	2023	●	○	●	○	○
28	Energy absorption and vibration mitigation performances of novel 2D auxetic metamaterials	Sebaq, M. H., Liu, ZS.	2024	○	○	●	○	○
29	Experimental and numerical analysis of mounting force of auxetic dowels for furniture joints	Kuskun, T; Smardzewski, J., Kasal, A.	2021	●	●	○	○	●
30	Highly tailorable electromechanical properties of auxetic piezoelectric ceramics with ultra-low porosity	Tang, H., vd.	2020	●	○	○	●	○
31	A novel design method to produce 3D auxetic metamaterials with continuous pores exemplified through 3D rotating auxetic systems	Galea, R., vd.	2023	○	○	●	●	○
32	Harnessing distinct deformation modes of auxetic patterns for stiffness design of tubular structures	Hur, JM., vd.	2021	○	○	●	○	○

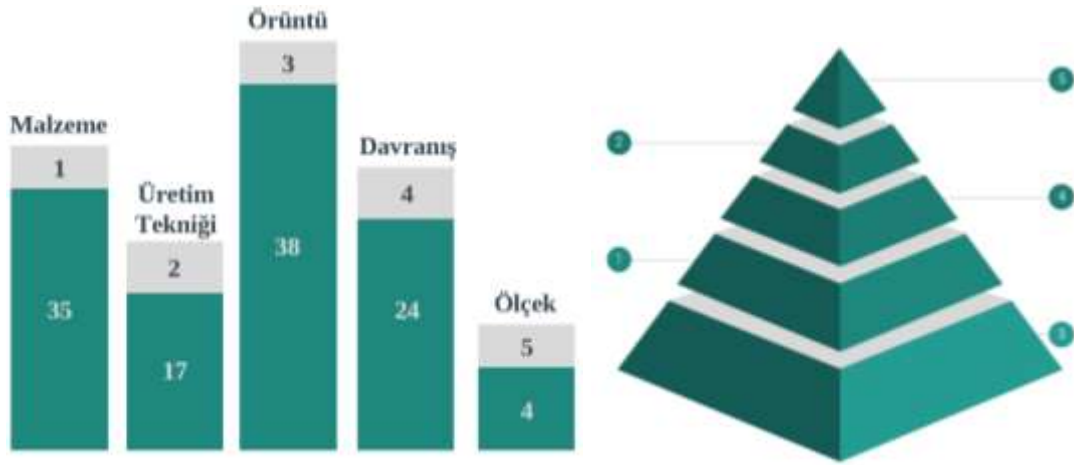


33	Modified re-entrant auxetic metamaterials with energy absorption enhancement	Etemadi, E., vd.	2024	○	●	●	○	○
34	In-plane impact behavior of 3D-printed auxetic stainless honeycombs	Zhou, YY., vd.	2022	●	●	●	○	○
35	Topological characteristics and mechanical properties of uniaxially thermoformed auxetic foam	Zhang, QC., vd.	2021	●	○	●	○	○
36	Dynamic and Quasistatic Properties of an Auxetic Structure: A Comparative Study	Alomarah, A., vd.	2022	○	○	●	○	○
37	Thermal shock resistance behavior of auxetic ceramic honeycombs with a central crack or an edge crack	Hu, JS., vd.	2020	●	○	●	●	○
38	Mechanical characterization of a novel thickness gradient auxetic tubular structure under inclined load	Han, D., vd.	2022	○	○	●	○	○
39	Ultrahigh energy-dissipation and multifunctional auxetic polymeric foam inspired by balloon art	Zhang, K., vd.	2023	●	○	●	○	●
40	Programmable multi-layered auxetic mechanisms	Karunanidhi, NK., vd.	2023	○	○	●	○	●
41	Mechanical responses of 3D cross-chiral auxetic materials under uniaxial compression	Wang, QS., vd.	2020	●	○	●	○	○
42	3D auxetic cementitious-polymeric composite structure with compressive strain-hardening behavior	Xu, YD., Savija, B.	2023	●	●	●	●	○
43	Thermal shock fracture analysis of auxetic honeycomb layer based on non-Fourier heat conduction	Hu, JS., vd.	2023	○	○	●	○	○
44	Mechanical properties of auxetic circular and square tubes filled with aluminum foam	Huo, RY., vd.	2023	●	●	●	●	●
45	Mechanical properties of concrete composites with auxetic single and layered honeycomb structures	Zhong, R., vd.	2022	●	●	●	●	○
46	A novel hybrid auxetic honeycomb with enhanced load-bearing and energy absorption properties	Li, LB., vd.	2023	○	○	●	○	○
47	Geometrically modified auxetic polyurethane foams and their potential application in impact mitigation of masonry structures	Asad, M., vd.	2021	●	○	●	●	○
48	Anti-blast performance of 3D-printed sandwich panels with auxetic hexagonal and regular hexagonal honeycomb cores	Yan, ZC., vd.	2022	●	●	●	●	○



49	Elucidating the auxetic behavior of cementitious cellular composites using finite element analysis and interpretable machine learning	Lyngdoh, GA., vd.	2022	●	●	●	●	○
50	Parametric Study Of Non-Periodic And Hybrid Auxetic Bending-Active Gridshells	Sakai, Y., Ohsaki, M.	2020	○	○	●	●	○

Bu analiz sonucu, araştırılan 50 makalede, çoktan aza sırasıyla (3) örüntünün 38, (1) malzemenin 35, (4) davranışın 24, (2) üretim tekniğinin 17 ve (5) ölçek parametresinin ise 4 araştırmada ele alındığı (bkz. Şekil 7) tespit edilmiştir.



Şekil 7. Veri yoğunluğu grafiği

Bu kapsamda veri yoğunluklarına göre;

- Biçim arayışlarının yeni meta-malzeme araştırmaları ile desteklendiğini,
- Davranış çalışmalarının, malzeme ve örüntülerle birlikte çalışarak, dış etkilere verilen kinetik tepkimelerde yoğunlaştığını,
- Üretim tekniği parametresi ile birlikte, güncel dijital tasarım ve üretim yöntemlerinde sıklıkla yer buluyor olmasını da destekler nitelikte olduğunu,
- Ölçek parametresinin en az yer verilmesi öksetik konusunda yeni araştırmalara açık bir literatür boşluğu olduğunu vurgulamaktadır.

SONUÇ

Gündelik hayatta oyuncaktan kıyafete birçok farklı kullanım ile karşımıza çıkan ve farkında olunmasa da hayatımızda olan bu strüktürler, çok parametreliliğiyle ters orantılı olarak basit yapıda ve kapsayıcıdır. Ancak bu çok parametreliliği, konu ile ilgili yeni araştırmaların yapılmasında çekincelere neden olabilir ve bu basit algılanabilir karmaşık sistemin çözüm üretebileceği birçok problem ile ilgili araştırma yapılmasına engel olabilir. Bu sebeple araştırma, güncel verileri elde etmek ve literatürdeki boşlukları tespit etmek için Web of Science veri tabanından ‘öksetik’ kavramı ile ilgili son 5 yıllık araştırmaları tarayarak, onları ilk yapılan analiz ışığında elde edilen malzeme, üretim tekniği, örüntü, davranış ve ölçek parametrelerine göre sınıflandıran bir çalışma ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma sonucunda öksetik örüntü ve malzeme araştırmalarının yoğun bir şekilde devam ettiği tespit edilmiştir. Form ve yeni meta-malzeme arayışlarının yanı sıra öksetik davranış gösteren strüktürlerin yeni teknolojilerle entegre edilerek kullanım alanlarının genişlediği de düşünülmektedir. Ayrıca her geçen gün hızla gelişmeye devam eden teknolojinin bir getirisi olarak öksetik strüktürlerin de üretim teknikleri farklılaşarak artmaktadır. Hücrelerden yapı elemanlarına hatta yapının bütününe kadar her boyutta karşımıza çıkmasına rağmen ölçek parametresinin araştırmalarda yeteri kadar yer bulamadığı düşünülmektedir.

Araştırmanın, ilerleyen aşamalarda web tabanlı bir etkileşimli platforma zemin olacak veri oluşturacağı düşünülmektedir. Böyle bir platform katılımcı veri girişi ile beslenerek öksetik kavramı ile ilgili her türde veriye ulaşılabilecek bir ara yüz oluşturulabilir. Aynı zamanda bu ara yüz ile birlikte konu ile ilgili tarihsel gelişim ve araştırmaların ne yönde ilerlediği izlenebilir. Herkesin kolaylıkla anlayabileceği bir literatür kodlama sistemi öneren bu çalışmanın kapsayıcı bir erişilebilirlikle, konunun yaygınlaşmasına ve eğitim materyali olarak kullanılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Alderson, A., & Alderson, K. (2007). Auxetic materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*.
- Baughman, R., Shacklette, J., Zakhidov, A., & Stafström, S. (1998). Negative Poisson's ratios as a common feature of cubic metals. *Nature*(392), 362-365.
- Bettini, P., Airolidi, A., Sala, G., & Di-Landro, L. (2010). Composite chiral structures for morphing airfoils: Numerical analyses and development of a manufacturing process. *Composites Part B:Engineering*.
- Evans, K., Nkansah, M., Hutchinson, I., & Rogers, S. (1991). Molecular network design. *Nature*(353).
- Grima, J. (2000). L-Università ta' Malta: https://staff.um.edu.mt/jgri1/auxetic/auxetic_f2.html adresinden alındı
- Hine, P., Duckett, R., & Ward, I. (1997). Negative Poisson's ratios in angle-ply laminates. *Journal of Materials Science Letters*, 541-544.
- Liu, Y., & Hu, H. (2010). A Review on Auxetic Structures and Polymeric Materials. *Scientific Research and Essays*, 1052-1063.
- Mazaev, A., Ajenez, O., & Shitikova, M. (2020). Auxetics materials: classification, mechanical properties and applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Mirante, L. (2015). Auxetic Structures: Towards Bending-Active Architectural Applications. Master Thesis. Politecnico di Milano.
- Naboni, R., & Mirante, L. (2015). Metamaterial computation and fabrication of auxetic patterns for architecture. *SigraDi*, (s. 129-136).
- Öner, D., Ezel Çırpı, M., & Çakıcı Alp, N. (2020). Auxetik Davranış ile Mimari Tasarım Deneyimi. XIV. Mimarlıktaki Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Trabzon.
- Rad, M., Hatami, H., Ahmad, Z., & Yasuri, A. (2019). Analytical solution and finite element approach to the dense re-entrant unit cells of auxetic structures. *Acta Mech*.
- Robertor, P., & Herder, J. (2024). A unified design method for 2D auxetic metamaterials based on a minimal auxetic structure. *International Journal of Solids and Structures*.
- Sanami, M., Ravirala, N., Alderson, K., & Alderson, A. (2014). Auxetic materials for sports applications. 2014 Conference of the International Sports Engineering Association (s. 453-458). *Procedia Engineering* 72.
- Spadoni, A., Ruzzene, M., & Scarpa, F. (2005). Global and local linear buckling behavior of a chiral cellular structure. *Physica Status Solidi*.
- Yang, L., Harrysson, O., West, H., & Cormier, D. (2013). A Comparison of Bending Properties for Cellular Core Sandwich Panels. *Materials Sciences and Applications*.
- Yu, X., Zhou, J., Liang, H., Jiang, Z., & Wu, L. (2018). Mechanical metamaterials associated with stiffness, rigidity and compressibility: A brief review. *Progress in Materials Science*.

