

# MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

Editör: Doç.Dr. Bayram KILIÇ

# MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

**Editör**

Doç.Dr. Bayram KILIÇ

**yaz**  
yayınları

2024

## MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

Editor: Doç.Dr. Bayram KILIÇ

---

### © YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz, depolanamaz.

---

E\_ISBN 978-625-6642-91-1

Temmuz 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar/AFYONKARAHİSAR

[www.yazyayinlari.com](http://www.yazyayinlari.com)

[yazyayinlari@gmail.com](mailto:yazyayinlari@gmail.com)

[info@yazyayinlari.com](mailto:info@yazyayinlari.com)

## İÇİNDEKİLER

**Agrivoltaik Sistemler; Kullanım Alanları ve**

**Faydaları .....1**

*İbrahim KIRBAŞ*

**Kafes Yapıların Üretim Yöntemleri .....15**

*Ahmet Fatih YURAN, Abdulkadir YILDIRIM, İbrahim YAVUZ*

**The Compatibility of The Students Who Take Computer-Aided Drawing Course in The Technical Departments of Vocational High School and The Benefits of Taking This Course in Business Life .....44**

*Muhammed Mustafa UYAR, Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT, Mahmut UYAR*

*"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."*

# AGRİVOLTAİK SİSTEMLER; KULLANIM ALANLARI VE FAYDALARI

İbrahim KIRBAŞ<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

Tarımı güneş enerjisi üretimiyle birleştirme uygulaması olan Agrivoltaik, farklı sektörlerde çeşitli faydalar sunuyor. Araştırmalar, agrivoltaik sistemlerin kurak alanlardaki gıda-enerji-su bağlantısında karşılıklı faydalar sağlayabileceğini göstermektedir (Barron-Gafford et. al., 2019). Bu sistemler sadece yenilenebilir enerji üretmekle kalmıyor, aynı zamanda mahsul verimini artırıyor ve çiftçilere ekonomik fayda sağlıyor (Maity et. al., 2023). Ek olarak, agrivoltaiklerin enerji ve gıda üretiminin karşılıklı fayda için üst üste bindirilmesinden (Şekil 1 ve Şekil 2) yararlandığı gösterilmiştir (Adeh et. al., 2019).

Çalışmalar, artan verim, azalan su ihtiyacı ve güneş panellerinin sağladığı gölge nedeniyle mahsulün korunması gibi agrivoltaiklerin çeşitli avantajlarını vurgulamıştır (Matulić, 2023). Ayrıca agrivoltaik sistemler enerji, ekonomik fayda, tarımsal tedarik hizmetleri, biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekosistem hizmetlerinin düzenlenmesi de dahil olmak üzere sinerjik gıda-enerji-çevresel ihtiyaçlara ulaşma fırsatları sunar (Walston et. al., 2022). Agrivoltaik sistemlerde fotovoltaiik ve bitkisel üretimin birleşimi, yenilenebilir enerji ve gıda üretiminin birleşimi için bir fırsat sunmaktadır (Weselek et. al., 2019).

Agrivoltaikler yalnızca tarıma fayda sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda yenilenebilir enerji sektörüne de katkıda

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, [ikirbas@mehmetakif.edu.tr](mailto:ikirbas@mehmetakif.edu.tr), ORCID: 0000-0002-5560-638X.

bulunuyor. Güneş enerjisini ve tarımsal üretimi birleştirerek arazinin ikili kullanımını sağlarlar, böylece tarım arazileri için kapsamlı ekonomik faydaları artırırılar (Zheng et. al., 2021). Üstelik agrivoltaik sistemler, elektrik sıkıntısı çeken bölgelerde sulama ve pompalama ekipmanlarına güç sağlayarak gıda güvenliğini sağlayan bağımsız güç kaynakları olarak hareket edebilir (Dinesh & Pearce, 2016).

**Şekil 1. Agrivoltaik Örnek Uygulamaları İtalya, Castelvetro (a), Borgo-Virgilio (b)**



**Şekil 2. Agrivoltaik Örnek Uygulamaları**



**Kaynak:** (URL-1)

Özet olarak, agrivoltaikler gıda-enerji-su bağlantısını ele almak, tarımsal verimliliği artırmak, yenilenebilir enerji üretmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmak için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Güneş enerjisi üretimini tarıma

entegre eden agrivoltaik sistemler, çeşitli sektörlerde çok yönlü potansiyel faydalar ortaya koyuyor.

## **2. AGRİVOLTAİK KULLANIM ALANLARI**

Tarım ve güneş enerjisi üretiminin entegrasyonu olan Agrivoltaikler, faydaları en üst düzeye çıkarmak için stratejik olarak kullanılabilir. Araştırmalar, agrivoltaik sistemlerin, tarımı ve fotovoltaikleri birleştirerek arazi kullanım rekabetini etkili bir şekilde ele aldığını göstermektedir (Uchanski et. al., 2023). Agrivoltaikler, bu iki aktiviteyi bir araya getirerek arazi kullanımını optimize edecek ve sürdürülebilirliği artıracak bir çözüm sunuyor.

Ayrıca, agrivoltaiklerin belirli ortamlarda hedeflenen şekilde uygulanması sinerjistik etkilere yol açabilir. Örneğin, aşırı güneş ışığından dolayı strese maruz kalabilecek mahsullerin kullanılması veya buharlaşma-terleme oranlarının yüksek olduğu sıcak ve kuru bölgelerde agrivoltaik sistemlerin uygulanması, bu sistemlerin genel faydalarını güçlendirebilir (Fleischmann et. al., 2023). Bu yaklaşım, zorlu çevre koşullarında tarımsal üretkenliği ve yenilenebilir enerji üretimini en üst düzeye çıkarma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Ek olarak, agrivoltaik sistemler, bağımsız PV sistemlere kıyasla fotovoltaik kurulumlara uygun alanı önemli ölçüde genişletmektedir (Clemens & Clemens, 2022). Tarımı güneş enerjisi üretimine entegre ederek, agrivoltaik sistemler yalnızca PV kurulumları için mevcut araziyi artırmakla kalmıyor, aynı zamanda bu PV sistemlerin genel verimliliğini ve üretkenliğini de artırıyor. Uygulanabilir PV alanlarının bu şekilde genişletilmesi, agrivoltaiklerin enerji tüketiminin karbondan arındırılmasına ve yenilenebilir enerjinin benimsenmesini teşvik etmeye katkıda bulunma potansiyelinin altını çiziyor.



Ayrıca agrivoltaiklerin toprak nemi, mikrometeoroloji ve su kullanım verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Adeh et. al., 2018). Agrivoltaik sistemlerde PV panellerin altındaki alanlar, geleneksel tarım alanlarıyla karşılaştırıldığında sezon sonu biyokütle üretiminde ve su kullanım verimliliğinde önemli artışlar sergilemiştir. Bu, agrivoltaiklerin tarımsal üretkenlik ve kaynak kullanımı üzerindeki olumlu etkisini vurgulayarak, bu sistemlerin suyun sınırlı olduğu ortamlarda sürdürülebilirliği artırma potansiyelini vurgulamaktadır.

Agrivoltaikler, özellikle bir çiftliğin, elektrikli araç şarj parkı için uygun olan ana bir yolun yanında yer alması halinde, çiftlikte kullanım için veya bir emtia olarak satmak amacıyla elektrikli araç şarjı için kullanılabilir; buda, çiftliğe ek bir gelir kaynağı olarak fayda sağlayacaktır.

Agrivoltaik sistemler çok çeşitli ve farklı ölçekler için uygundur. Genel olarak agrivoltaikler büyük ölçekli uygulamalar için değerlendirilse de, evdeki bir ekim tesisi yada küçük bir çiftlik uygulaması içinde agrivoltaik sistemler uygulanabilir (Pearce, 2021). Agrivoltaik teknolojisi, mahsullerde çeşitli gölge toleranslarıyla çalışabilir. Yetiştirilecek ürün çeşidine göre gölge, yarı gölge, %25 gölge vb. gibi çeşitli dizilimlere izin vermektedir. Örneğin, tam dizi yoğunluklu PV modülleri gölgeye dayanıklı bitkilerle iyi çalışır, daha az yoğun PV sistemleri ise gölgeye toleranssız bitkiler için uygundur (Riaz, et. al., 2022). Ayrıca gölgeleme oranı PV panellerin yerleştirileceği konstrüksiyon ayaklarının yükseltilmesi ile de ayarlanabilir. Arazide tarım ekipmanları (traktör, ilaç makinesi, vb.) kullanılması düşünülen uygulamalarda Doğu/Batı'ya bakan dikey iki yüzeyli fotovoltaikler tercih edilebilir. Yine PV dizilerinin kurulum yüksekliğinin arttırılmasıyla, çift yüzeyli modüller için daha fazla ışınım ve iki yüzeyli kazanç gözlemlenmesi mümkün olacaktır. Bu tür sistemlerde PV panellerin yükseltilmesinin bir diğer

avantajı da tarım makinelerinin kullanımına kolaylık sağlamasıdır. Modül dizileri arasındaki dizi arası mesafenin arttırılması zemin ışınlmasına fayda sağlar; ancak aynı zamanda belirli bir alan için elektrik çıkışını da azaltacaktır. Agrivoltaik dizi aralığının geleneksel PV çiftliklerinden daha büyük olmasıyla, daha serbest hava akışına izin verir böylece kapasite faktörü artar, bu da daha düşük çalışma sıcaklıklarına ve panellerin birbirini gölgelemesinin önemli ölçüde azalmasına neden olacaktır. Diziler arası mesafenin artırılmasının olumsuz bir yönü daha uzun kablo uzunlukları nedeniyle DC kayıplarında küçük bir artış beklenebilir, ancak genel olarak agrivoltaik sistem, toplamda daha fazla alanın kullanılmasına olanak tanıyarak ekonomik avantajlar sağlayacaktır (Katsikogiannis, et. al., 2022).

Agrivoltaik sistemlerin bir başka kullanım alanı ise seralardır. Kısmen şeffaf PV paneller, sera camlarının üzerine entegre edilebilir ve böylece güneş enerjisinden elektrik üretimi ile gıda üretimi arasında daha fazla bağlantı sağlanabilir (La Notte, et. al., 2020). Seraların ihtiyacı olan diğer enerji ihtiyaçları da (aydınlanma, sulama sistemleri, ilaçlama sistemleri vb.) böylelikle karşılanmış olur. Bu özeliği sayesinde agrivoltaik sistemlerin sera uygulamaları ile şebekeden uzak bölgelere seracılık faaliyetlerini mümkün kılar.

### **3. AGRİVOLTAİKLERİN FAYDALARI**

Agrivoltaikler, arazinin hem tarım hem de PV elektrik üretimi için ikili kullanımındır. Tarım arazilerinde tarımsal faaliyetlerin devam etmesini sağladığından, büyük ölçekli güneş enerjisi çiftliklerine yönelik önceki bazı eleştirilerin üstesinden gelen nispeten yeni bir teknolojidir. Agrivoltaikler, aşağıdaki gibi çok sayıda fayda ve hizmet sağlar:

- Yenilenebilir ve sürdürülebilir elektrik üretimi;
- Fosil yakıtlı enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azalması;
- Azalan karbon emisyonları nedeniyle iklim değişikliğinin azaltılması;
- Su tasarrufu;
- Artan tarımsal ürün verimi;
- Çiftlikteki bitkilerin aşırı güneş ışınlamından korunması;
- Çiftlikte bitkileri sert rüzgara karşı koruması;
- Çiftlikteki bitkilerin doludan koruması;
- Toprak erozyonunu önler;
- Çölleşmeyi tersine çevirir;
- Tarımsal istihdamı korur;
- Yerel gıda üretimini mümkün kılar;
- Kirliliğin etkilerinin azalması sonucu sağlığın iyileştirilmesi;
- Çiftçiler için enerji satışından elde edilen gelirin artması;
- Enflasyona karşı koruma görevi görebilecek sürekli bir gelir kaynağı;
- Entegre sera potansiyeli;
- Çiftlikte üretilen azotlu gübre üretme potansiyeli;
- Hidrojen ve susuz amonyak dahil olmak üzere yenilenebilir yakıtların çiftlikte üretimi;
- Elektrikli araçların hem çiftlik içi hem de çiftlik dışı kullanım için şarj etmekte yenilenebilir kaynaklarından elektrik üretimi.

Agrivoltaik sistemlerin faydalarının ilki doğrudan güneş fotovoltaik sistemlerinin yenilenebilir ve sürdürülebilir elektrik üretmesidir. Bu yeşil elektrik fosil yakıtlı üretilen kaynaklardan gelen elektriğin seviyesine ulaştığında sera gazı emisyonlarının azalmasına hatta enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının bitmesine sebep olacaktır (Fthenakis et. al., 2008). Böylece

küresel iklim istikrarsızlığı, ekonomi, insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin uzun listesini azaltacak olması da ikinci sağladığı önemli faydadır. Agrivoltaikler ayrıca çiftlikte su verimliliğini ve su tasarrufunu geliştirerek su sistemlerine fayda sağlama potansiyeline sahiptir (Elamri et. al., 2018; Al-Saidi & Lahham, 2019; Giudice et. al., 2021; Miao et. al., 2019)

En önemlisi, çok çeşitli gıda mahsulleri üzerinde yapılan birçok çalışma, agrivoltaiklerin mahsul verimini arttırdığını göstermiştir; bunlar arasında aşağıdaki mahsuller bulunmaktadır: Ispanak, Fesleğen (Thompson et. al., 2020), Brokoli (Hudelson & Lieth, 2021), Kereviz (Weselek et. al., 2021), Domates, Acı biber (Barron-Gafford et. al., 2019), Salatalık, Patates (Beck et. al., 2012), Marul (Marrou et. al., 2013), Buğday, Mısır (Rem Tec1, Rem Tec2, Rem Tec3), Mera otu (Adeh et. al., 2018).

Yukarıda özetlenen çok çeşitli ürünlerin verimi üzerindeki önemli olumlu etkiler nedeniyle, agrivoltaikler için arazi kullanım verimliliği, ayrı ayrı araziler üzerine kurulmuş çiftçilik ve PV'ye göre artar (Trommsdorff et. al., 2021). Bu arazi verimliliğindeki artışın küresel olarak %35-73 oranında ulaşabileceği bildirilmiştir (Mow, 2018).

Agrivoltaik sistemler, güneş PV dizilerinin altında bağlı nem, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yönü ve toprağın nemi gibi çeşitli faktörleri değiştiren mikro iklimler üretir. Bu mikro iklim, gıda mahsulleri için genellikle faydalıdır çünkü güneş enerjisi PV dizisi, mahsulleri aşırı güneş enerjisinden korumak için bir kalkan görevi görür. Agrivoltaik sistemler ayrıca rüzgâr kalkanı görevi görür ve bitkileri/çeşitleri ağır rüzgâr yüklerinden korur (Willockx et. al., 2022). Aynı PV kalkan konsepti, mahsulleri doludan korurken aynı zamanda modüllerin altındaki mahsullerin yarattığı daha düşük çalışma sıcaklıkları nedeniyle PV performansını da artırabilir (Schindele et. al., 2020). Agrivoltaik mikro iklimler ayrıca toprak erozyonunu azaltabilir, hatta çölleri

ve çorak arazileri orada bitki yetiştirmek ve rehabilite etmek için bile kullanılabilir (Xiao et. al., 2022).

Agrivoltaikler, uygun şekilde tasarlanıp arazi üzerindeki dağılımı planlandığı takdirde uzak mesafelere enerji nakil edilmesine gerek kalmayacak bu sayede iletim ve dağıtımından kaynaklanan kayıplar ortadan kalkacak veya azalacaktır. Termik santraller hidrolik santraller gibi geleneksel enerji üretim yöntemlerinde arazi kullanımı öncelikli olarak enerji üretimine tahsis edildiğinden tarım için başka alanlara göç edilmesi ya da yer değiştirilmesi gerekmektedir. Agrivoltaikler ile böyle bir yer değiştirmeye gerek kalmadan aynı alanda ikili üretim gerçekleşebilmektedir. Ya da bu durumun tam tersi olarak gıda nakliyesini ortadan kaldırarak son kullanıcının gıdaya en taze şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Çünkü agrivoltaiklerin oluşturduğu mikro iklimler sayesinde geleneksel yöntemler ile yetiştirilmesi mümkün olmayan ürünlerin bu mikro iklimlerde yetiştirilmesi mümkün olacaktır. Farklı üretim bölgelerinden ürün nakliyesi böylece ortadan kalkacaktır. Dolaylı olarak taze gıdalar sağlık açısından fayda sağlanacaktır. Diğer bir dolaylı fayda ise nakliye için harcanacak yakıt giderleri azalacaktır. Bilindiği üzere karbon ayak izinin belirlenmesi üç kapsamda incelenmektedir. Kapsam 1; konut, sanayi, ticarethane-kurumlar ve ulaşımından kaynaklı salınımları içermektedir (Kırbaş & Kocakulak, 2022). Nakliye için harcanacak yakıt miktarının azalması aynı zamanda karbon ayak izi miktarının da azalmasına sebep olacaktır. Böylece, agrivoltaikler hem doğrudan hem de dolaylı olarak insan sağlığını iyileştirebilir ve hastalıkları önleyebilir, çevre kirliliği gibi olumsuzlukları azaltabilir.

#### **4. SONUÇ**

Sonuç olarak, agrivoltaikler arazi kullanımını optimize etmek, tarımsal verimliliği artırmak, yenilenebilir enerji üretimini

genişletmek ve kaynak verimliliğini artırmak için çok yönlü bir çözüm sunuyor. Sera gazı salınımını önemli ölçüde azaltmak ve böylece iklim değişikliğine önlemede etkin bir rol oynamakta yüksek bir potansiyele sahiptir. Agrivoltaik sistemleri belirli ortamlarda stratejik olarak konuşlandırarak ve bunların sinerjik etkilerinden yararlanarak paydaşlar, gıda-enerji-su bağlantı noktasındaki karmaşık zorlukların üstesinden gelmek için bu yenilikçi yaklaşımın tüm potansiyelinden yararlanabilirler.

## KAYNAKÇA

- Adeh, E., Good, S., Calaf, M., & Higgins, C. (2019). Solar PV power potential is greatest over croplands. *Scientific Reports*, 9(1).
- Adeh, E., Selker, J., & Higgins, C. (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *Plos One*, 13(11), e0203256.
- Al-Saidi, M., Lahham, N. (2019). Solar energy farming as a development innovation for vulnerable water basins. *Dev. Pract.* 29, 619–634.
- Barron-Gafford, G., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R., Sutter, L., Barnett-Moreno, I., Blackett, D., & Macknick, J. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848-855.
- Beck, M.; Bopp, G., Goetzberger, A., Obergfell, T., Reise, C., Schindele, S. (2012). Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic-Optimization of Orientation and Harvest. In *Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, EU PVSEC, Frankfurt, Germany, 24–28 September 2012*.
- Clemens, M. and Clemens, T. (2022). Scenarios to decarbonize Austria’s energy consumption and the role of underground hydrogen storage. *Energies*, 15(10), 3742.
- Dinesh, H. and Pearce, J. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299-308.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J.-M., Dejean, C., Belaud, G. (2018). Water Budget and Crop Modelling for Agrivoltaic Systems: Application to Irrigated Lettuces. *Agric. Water Manag.* 208, 440–453.

- Fleischmann, J., Blechinger, P., Ribbe, L., Nauditt, A., Achkar, J., Tiwari, K., & Platzner, W. (2023). Owefe—open modeling framework for integrated water, energy, food, and environment systems. *Environmental Research Infrastructure and Sustainability*, 3(1), 015006.
- Fthenakis, V.M., Kim, H.C., Alsema, E. (2008). Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2168–2174.
- Giudice, B.D., Stilling, C., Chapman, E., Martin, M., Riihimäki, B. (2021). Residential Agrivoltaics: Energy Efficiency and Water Conservation in the Urban Landscape. In *Proceedings of the 2021 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, Virtual, 7–9 April, 237–244.
- Hudelson, T., Lieth, J.H. (2021). Crop Production in Partial Shade of Solar Photovoltaic Panels on Trackers. *AIP Conf. Proc.* 2361, 080001.
- Katsikogiannis, O.A., Ziar, H., Isabella, O. (2022). Integration of Bifacial Photovoltaics in Agrivoltaic Systems: A Synergistic Design Approach. *Appl. Energy*, 309, 118475.
- Kırbaş, İ., Kocakulak, T. (2022). Burdur İli Karbon Ayak İzini Belirlenmesi. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science And Engineering*, 24(70), 317-327.
- La Notte, L., Giordano, L., Calabrò, E., Bedini, R., Colla, G., Puglisi, G., Reale, A. (2020). Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Appl. Energy*, 278, 115582.
- Maity, R., Sudhakar, K., Razak, A., Karthick, A., & Barbulescu, D. (2023). Agrivoltaic: a strategic assessment using swot and tows matrix. *Energies*, 16(8), 3313.



- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur. J. Agron.* 44, 54–66.
- Matulić, D. (2023). Agrivoltaics and aquavoltaics: potential of solar energy use in agriculture and freshwater aquaculture in Croatia. *Agriculture*, 13(7), 1447.
- Miao, R., Khanna, M. (2019). Harnessing Advances in Agricultural Technologies to Optimize Resource Utilization in the Food-Energy-Water Nexus. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 12, 65–85.
- Mow, B. (2018). Solar Sheep and Voltaic Veggies: Uniting Solar Power and Agriculture. *State, Local, and Tribal Governments, NREL [WWW Document]*. Available online: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/solar-sheep-and-voltaicveggies-uniting-solar-power-and-agriculture.html> (accessed on 02 April 2024).
- Pearce, J.M. (2021). Parametric Open Source Cold-Frame Agrivoltaic Systems. *Inventions*, 6(4), 71.
- REM TEC1 (2024). REM Tec—Castelvetro Agrovoltaiico Plant Piacenza—Italy. Available online: <https://remtec.energy/en/agrovoltaiico/installations/31-castelvetro> (accessed on 01 April 2024).
- REM TEC2 (2024). REM Tec—Monticelli D'Ongina Agrovoltaiico Plant Piacenza—Italy. Available online: <https://remtec.energy/en/agrovoltaiico/installations/30-monticelli-dongina> (accessed on 01 April 2024).
- REM TEC3 (2024). REM Tec—Borgo Virgilio Agrovoltaiico Plant Montava—Italy. Available online: <https://remtec.energy/en/agrovoltaiico/installations/29-borgo-virgilio> (accessed on 01 April 2024).

- Riaz, M.H., Imran, H., Alam, H., Alam, M.A., Butt, N.Z. (2022). Crop-Specific Optimization of Bifacial PV Arrays for Agrivoltaic Food-Energy Production: The Light-Productivity-Factor Approach. *IEEE J. Photovolt.* 12, 572–580.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., et al. (2020). Implementation of Agrophotovoltaics: Techno-Economic Analysis of the Price-Performance Ratio and Its Policy Implications. *Appl. Energy*, 265, 114737.
- Thompson, E.P., Bombelli, E.L., Shubham, S., Watson, H., Everard, A., D’Ardes, V., Schievano, A., Bocchi, S., Zand, N., Howe, C.J.; et al. (2020). Tinted Semi-Transparent Solar Panels Allow Concurrent Production of Crops and Electricity on the Same Cropland. *Adv. Energy Mater.* 10, 2001189.
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P., Obergfell, T. (2021). Combining Food and Energy Production: Design of an Agrivoltaic System Applied in Arable and Vegetable Farming in Germany. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 140, 110694.
- Uchanski, M., Hickey, T., Bousselot, J., & Barth, K. (2023). Characterization of agrivoltaic crop environment conditions using opaque and thin-film semi-transparent modules. *Energies*, 16(7), 3012.
- URL-1 (2024) agrivoltaik örnek uygulamaları, Available online: <https://reads.alibaba.com/tra-grivoltaic-farming-the-answer-to-food-energy-production> (accessed on 02 April 2024).

- Walston, L., Barley, T., Bhandari, I., Campbell, B., McCall, J., Hartmann, H., & Doležal, A. (2022). Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 932018.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 35.
- Weselek, A., Bauerle, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Högy, P. (2021). Effects on Crop Development, Yields and Chemical Composition of Celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*) Cultivated Underneath an Agrivoltaic System. *Agronomy*, 11, 733.
- Willockx, B., Kladas, A., Lavaert, C., Uytterhaegen, B., Cappelle, J. (2022). How Agrivoltaics Can Be Used as a Crop Protection System. *In Proceedings of the EUROSIS*, Dublin, Ireland, 1–3 June 2022.
- Zheng, J., Meng, S., Zhang, X., Zhao, H., Ning, X., Chen, F., & Li, W. (2021). Increasing the comprehensive economic benefits of farmland with even-lighting agrivoltaic systems. *Plos One*, 16(7), e0254482.

# KAFES YAPILARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

**Ahmet Fatih YURAN<sup>1</sup>**

**Abdulkadir YILDIRIM<sup>2</sup>**

**İbrahim YAVUZ<sup>3</sup>**

## 1. GİRİŞ

Kafes (Lattice) yapılar bir birim hücrenin çok sayıda periyodik olarak tekrarı ile oluşturulan gözenekli yapılardır. Kafes yapılar literatürde gözenekli malzeme, hücresel yapı ve köpük yapılar gibi terimlerle de anılmaktadır. Kafes yapıların en önemli özelliği oldukça hafif olmasına rağmen mükemmel bir dayanıma sahip olmalarıdır. Bunun yanında son yıllarda yapılan çalışmalar kafes yapıların kuvvetler karşısında enerji absorpsiyonu, ısı ve akustik yalıtım özellikleri konusunda da önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir. Kafes yapıya sahip dikkat çekici mühendislik ürünlerinden biri Şekil 1, a'da gösterilen ve ilk kez 1930'larda üretilen aerojel'dir (Kistler, 1931). Bu ürün sahip olduğu yüksek termal yalıtkanlığı nedeniyle National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından 2003 yılında Mars görevinde araçlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır (Jones, 2006). Kafes yapılar sadece özenle çalışılmış mühendislik ürünlerine özgü yapılar değildir.

---

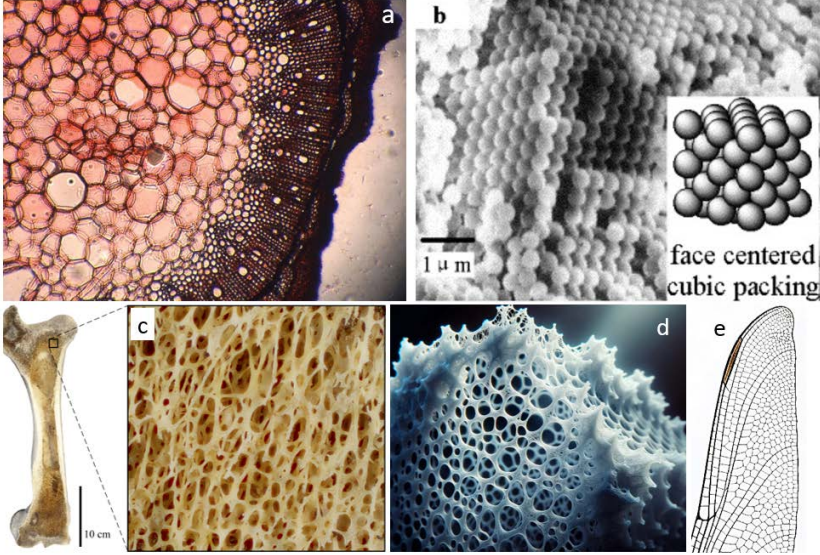
<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, fatihyuran@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2105-2614.

<sup>2</sup> Öğr. Gör., Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Otomotiv Teknolojisi, a.yildirim@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0223-9221.

<sup>3</sup> Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, iyavuz@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4480-2342.

Doğada bulunan birçok malzemede kafes yapılarla karşılaşırız. Bitki hücreleri kafes yapılardan oluşur. Asma bitkisinin filizlerindeki hücre yapısı (Şekil 1,a) sahip olduğu kafes yapıyı özelleştirerek etrafındaki diğer yapılara tutunabilmektedir (Yuran, 2013). Canlılarda bulunan kemik dokular (Şekil 1C) sahip olduğu kafes yapı yardımıyla mekanik dayanımlarını artırmaktadır (Cong ve Cao, 2006). Bir yusufçuk kafes yapıya sahip olan kanatları (Şekil 1,e) ile aerodinamik özelliklerini iyileştirmektedir. Malzemeleri atomik boyutlarda incelediğimizde kafes yapılar yine karşımıza çıkar. Sodyum klorür (NaCl)'ün mikroyapısı Yüzey Merkezli Kübik bir kafes yapıya sahiptir (Şekil 1,b). Metallerin birçoğu ise Hacim Merkezli Kübik kafes yapılardan oluşmaktadır.

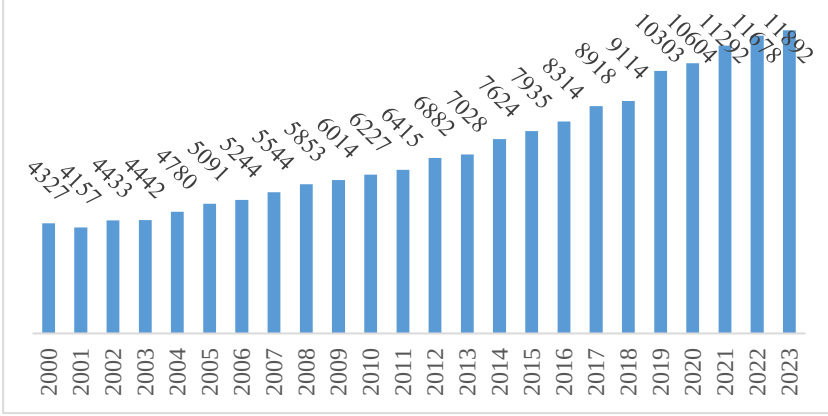
**Şekil 1. Asma Filizinin Kesit Görüntüsü (a), NaCl Mikro Yapısı (b), Kemik Dokusu (c) Aerogel (d), Gomphidae Kanat Yapısı (e)**



Kafes yapıların sağladığı avantajlar son yıllarda bu konuda yapılan çalışmaların artmasına neden olmuştur. Web of Science (WOS) veri tabanında Mayıs 2024 itibariyle “Lattice Structure” anahtar kelimesini içeren 200.000’den fazla çalışma

bulunmaktadır (Şekil 2). Literatürdeki çalışmalarda kafes yapıların üretimi için çok sayıda farklı yöntem önerilmiştir. Literatürde tavsiye edilen üretim yöntemleri arasında döküm, kaynak ve talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemler bulunmaktadır.

**Şekil 2. Kafes Yapılar Üzerine Yapılan Çalışmaların Dağılımı.**



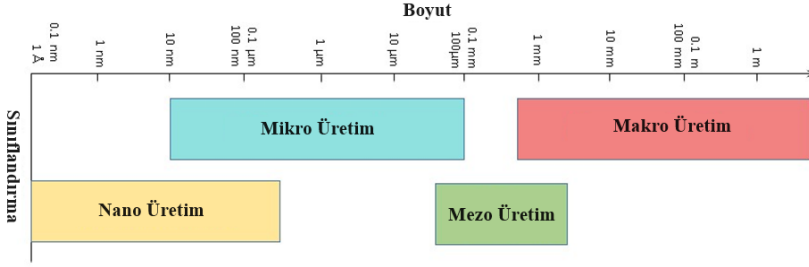
Bununla birlikte son yıllarda gelişen eklemeli imalat teknolojileri geleneksel üretim yöntemlerinin yerini almaya başlamıştır. Özellikle literatürde son yıllarda eklemeli imalat kafes yapıların esas üretim yöntemi haline gelmiştir.

## **2. KAFES YAPILARIN GELENEKSEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Kafes yapıların üretim yöntemleri üretilecek yapının boyutları üzerinden değerlendirilebilir. Kafes yapıların ilk örnekleri makro boyutlarda karşımıza çıkmaktadır. Makro boyutlardaki kafes yapılar 10 mm'den büyük yapılardır. 10µm, 5mm boyutlarındaki yapılar meso ölçek içerisinde değerlendirilir. 10nm - 100µm boyutlardaki kafes yapılar mikro ve 10nm'den küçük olan kafes yapılar nano ölçekte üretimi ifade eder. Kafes yapıların ilk örnekleri makro boyutlarda karşımıza çıkmaktadır. Kafes yapıların bu örneklerinin üretiminde ağırlıklı olarak talaşlı

üretim ve döküm gibi geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Teknolojinin gelişimiyle doğru orantılı olarak kafes yapıların boyutları da küçülmüştür. Günümüzde nano ölçeklerde kafes yapıların üretimleri yapılabilmektedir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak üretim süreçleri de değişiklik göstermiştir. Dolayısıyla kafes yapıların üretim süreçleri geleneksel ve modern üretim yöntemleri olarak iki bölümde değerlendirilebilir. Talaşlı şekillendirme, döküm, kalıplama, birleştirme gibi yöntemler geleneksel yöntemler başlığı altında sınıflandırılır. Eklemeli imalat ve alt yöntemleri kafes yapıların modern üretim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

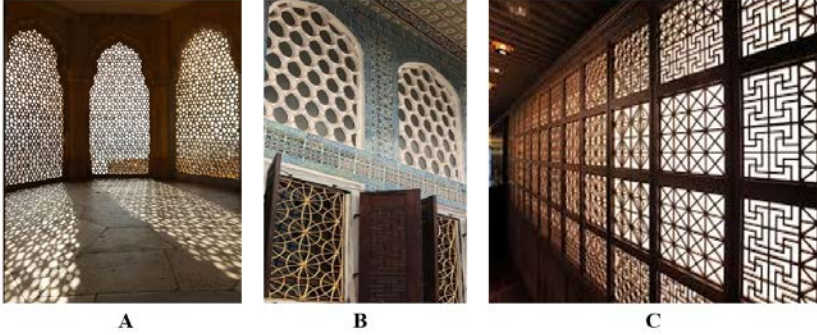
**Şekil 3. Kafes Yapılarda Üretim Ölçekleri**



Geleneksel üretim yöntemleri, genellikle büyük bir hammadde parçasından belirli parçaların kesme yoluyla kontrollü olarak çıkarılmasıyla istenen parçanın elde edildiği bir üretim sürecidir. Bütün bir malzemedен parça çıkarılması esasına dayandığı için eksiltmeli üretim (Subtractive Manufacturing) olarak da anılır. Bu durumun tam aksine eklemeli üretimde (Additive Manufacturing) istenen ürünü oluşturmak için hammadde katmanlar halinde birbirine eklenerek üretilir. Makro boyutlardaki kafes yapılar talaşlı üretim yöntemleriyle üretilebilir. Ancak kafes yapıların boyutları küçüldükçe bu yöntemlerle üretimlerinin yapılması zorlaşır. Bunun yanında talaşlı üretimin diğer bir kısıtlaması da birim hücrenin tasarımıdır. Birim hücre tasarımı basit bir yapıdan karmaşık bir yapıya evrildikçe talaşlı üretime uygunluğu da azalır. Dolayısıyla

karmaşık bir tasarıma sahip birim hücrenin talaşlı üretimi zorlaşabilir, hatta mümkün olmayabilir. Kafes yapıların ilk uygulamaları; talaşlı şekillendirme, döküm, kalıplama, birleştirme gibi yöntemler ve bu yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla üretilmişlerdir. Bunun yanında yine ilk uygulamalarda karşılaşılan kafes yapıların makro boyutlarda olduğu görülmektedir. Kafes yapıların makro boyutlarda üretilmiş ilk örnekleri mimari alanda kullanılmıştır.

**Şekil 4. Mimaride Örnek Kafes Yapıları; Amber Kalesi (A), Topkapı Sarayı'nın Pencereleri (B) ve Japon Mimarisinden Kafes Yapı Örnekleri (C).**

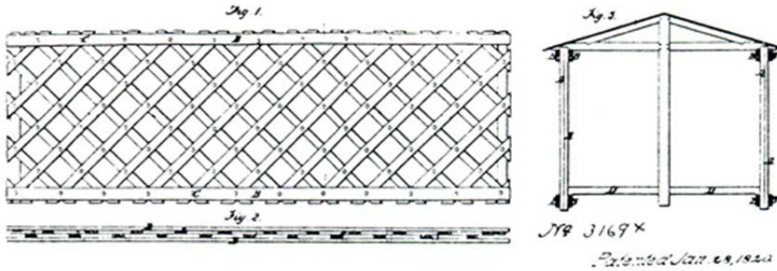


Osmanlı mimarisinde evlerde bulunan cumba (oriel) ve pencereler ahşaptan kafes yapılarla kapatılmıştır. Bu tür pencereler müşrefiye (mashrabiya) olarak da anılmaktadır. Uzak doğuda ise müşrefiye benzeri örnekler 7. yüzyılda geleneksel Japon mimarisinde kumiko ahşap işçiliği ismiyle karşımıza çıkmaktadır. Müşrefiye ve benzeri kafes yapılar öncelikli olarak sanatsal ve estetik kaygılarla kullanılmıştır. Ancak estetik özelliklerine ek olarak bina içerisinde ışık ve sıcaklığı optimize etmeyi amaçlamaktadır. Kafes yapıların temel tanımında belirtildiği gibi birim hücrenin çok sayıda periyodik tekrarıyla bir bütünün oluşturulması esasına göre üretilmişlerdir. Mimari kullanım amacına göre; odanın istenen miktarda ışık alabilmesi veya odaya girecek olan hava akışının istenen miktarda kısıtlanması amacına yönelik olarak birim hücreler özel olarak



tasarlanırlar. Mimaride sık kullanılan bu kafes yapılar ağırlıklı olarak ahşaptan üretilmiştir. Bununla birlikte farklı metallerden üretilmiş örnekleri de bulunmaktadır. Kafes yapıların tarihteki ilk kullanımlarında temel özellik estetik ile ilgili olmasına rağmen ilerleyen zamanlarda bu yapıların fonksiyonel olarak farklı özelliklerinden de faydalanılabileceği keşfedilmiştir. Kafes yapıların dayanımlarının daha yüksek oluşu keşfedilen ilk fonksiyonlarından biridir. Bu yönde görülen ilk çalışmalardan biri Ithiel Town tarafından 1820’de patenti alınan kafes yapı ile oluşturulmuş bir köprü tasarımıdır. Mimar ve inşaat mühendisi olan Town, biri Connecticut Nehri üzerinde Hartford’da, ikisi de Massachusetts’te Springfield ve Northampton’da olmak üzere ahşaptan üç köprü inşa etmiştir. Her üç köprüyü de daha önce patentini aldığı kafes yapıyı temel alarak tasarlamıştır (Şekil 5A). Köprünün tasarımında, çok sayıda yakın aralıklı küçük diyagonal elemanlardan oluşan ahşap birim hücreler kullanılmıştır.

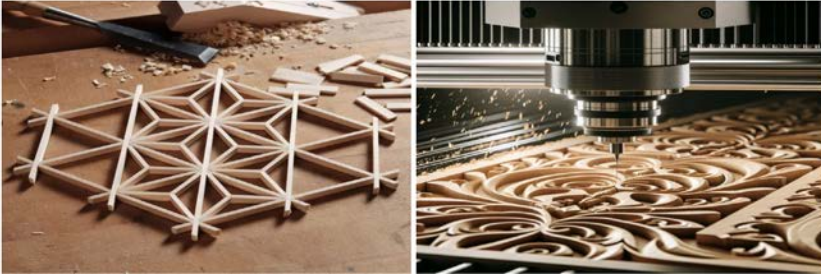
**Şekil 5. Kafes Yapı Kullanım Örnekleri; Ithiel Town Tarafından  
1820’de Patenti Alınan Kafes Yapı**



Kafes yapıların makro boyutlarında ilk örneklerinin üretiminde geleneksel talaşlı üretim yöntemleri kullanılmıştır. Müşrefiye gibi tarihi daha eskiye dayanan örneklerinde birim hücreler üretilirken talaşlı üretimin ilk örneği olan ahşap el işçiliği kullanılmıştır. Sonraki yıllarda Town'un köprülerinde kullandığı kafes yapıların üretiminde de yine talaşlı imalat kullanılmıştır. Ancak bu yıllarda el işçiliği yerini çeşitli tezgahlara bırakmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ahşap el işçiliği ve ilkel

tezgahlar yerlerini; torna, freze ve matkap gibi daha modern tezgâhları içeren nispeten modern sayılabilecek yöntemlere bırakmıştır. Kafes yapıların talaşlı üretiminde el işçiliği (Şekil 6A), torna ve freze gibi çok bilinen ve geçmişleri oldukça eskiye dayanan yöntemler kullanılabilir. Bu tezgahların daha modern versiyonları olan Bilgisayar Kontrollü Tezgahlar (CNC) kafes yapıların daha hassas talaşlı üretimine olanak sağlar (Şekil 6B).

**Şekil 6. El işçiliği ile kafes yapı üretimi (A) ve otomatik tezgahlarla kafes yapı üretimi (B).**

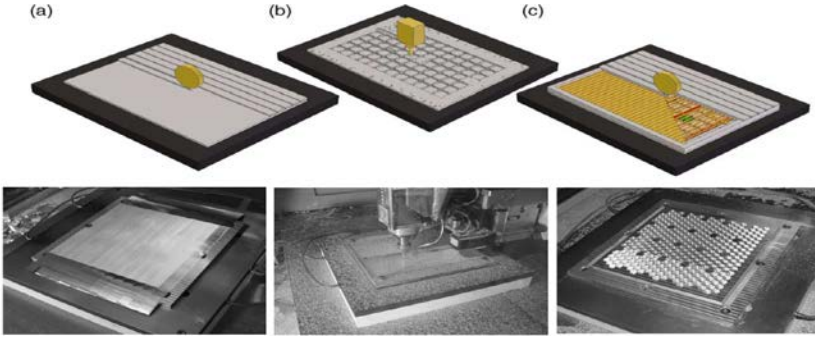


Bunların yanı sıra lazer kesim, su jeti veya elektro erozyon (Electrical Discharge Machining) gibi yöntemler de kullanılır. Kafes yapıların üretiminde talaşlı üretim yöntemlerinin biri veya daha fazlası bir arada kullanılabilir. Literatürde kafes yapıların ilk örneklerinin üretiminde talaşlı üretim yöntemlerinden sıkça faydalanılmıştır (Helou ve Kara, 2018; Ishak ve Larochelle, 2017; Barynin vd., 1999). 2015’e kadar talaşlı üretim yöntemleriyle üretilen kafes yapılarla karşılaşılmaktadır. Ancak özellikle 2000’li yıllardan sonra kafes yapıların üretiminde eklemeli üretim yöntemleri daha çok hız kazanmıştır.

J. George ve B. Stucker (2006) yaptıkları çalışmada hem eklemeli üretim hem de talaşlı üretim yöntemlerini bir arada kullanarak alüminyum kafes yapılar üretmiştir. Alüminyum yapıların oluşturulmasını sağlamak için hem ultrasonik birleştirme (eklemeli üretim) hem de CNC frezeleme (talaşlı üretim) kullanılmıştır. Çalışmanın eklemeli imalat olarak adlandırılabilen yönteminde alüminyum metal folyolar

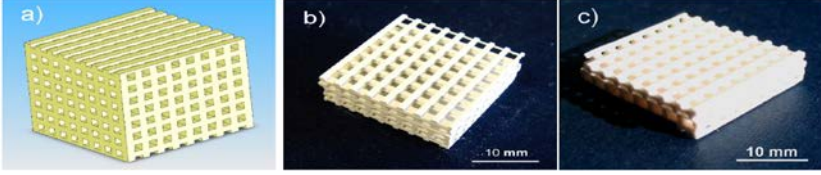
birbirleri üzerine katmanlar halinde birleştirilmiştir. Ultrasonik kaynak kalıpları; horn ya da sonotrot olarak adlandırılır. Sonotrot yüksek frekansta bir titreşim üreterek bunu iş parçasına iletir. Titreşimle birlikte yüzey ergime sıcaklığına erişir ve metal folyo katmanları böylelikle birbirine katman katman yapıştırılır.

**Şekil 7. Talaşlı İmalatla Kafes Yapı Üretimi; a. Ultrasonik Sonotrot ile Birleştirilmiş Metal Folyolar, b. Talaşlı İmalat Kafes Yapının Şeklinin Verilmesi, c. Kafes Yapının Son Hali.**



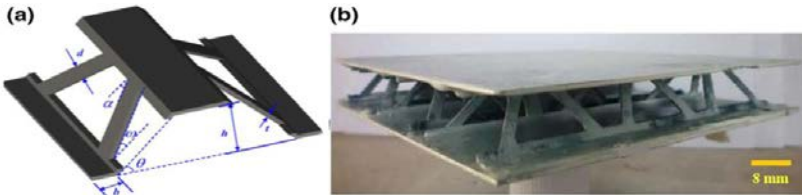
Çalışmada önerilen yöntemde ultrasonik titreşim ile metal folyo katmanlarını birleştirmek için bir sonotrot kullanılmıştır. Sonra metal katmanlar bir talaşlı üretim tezgâhı olan CNC freze ile işlenerek son şekline getirilir (Şekil 7). Frezeleme işleminden sonra üst yüzeye bir diğer metal folyo tekrar serilir ve ultrasonik kaynak ile birleştirilir. Ardından tekrar frezeleme işlemi uygulanır. Ürün son halini alana kadar bu işlem döngüsü tekrarlanır. L. Yin vd. (2008), yaptıkları çalışmada, CNC ile talaşlı üretim ve yapıştırma yöntemlerini bir arada kullanarak seramik kafes yapılar üretmiştir (Şekil 8).

**Şekil 8. 3 Boyutlu Seramik Yapının Gösterimi; (a) Bilgisayar Destekli Model, (b) İşlenmiş Seramik Yapı ve (c) Sinterlenmiş Bağlantılı Yapı.**



Çalışmada seramik çubuk yapılar sinterleme işleminden önce CNC tezgahlarda işlenmiş ve istenen boyutlara getirilmiştir. Daha sonra bu çubuklar birim hücreyi oluşturacak şekilde sinterlenerek birbirlerine yapıştırılmıştır. Çalışmada önerilen bu yöntem eklemeli imalata bir alternatif olarak sunulmuştur. Kafes yapıların dış kısımlarına ince ancak sert kabuklar yerleştirilmesiyle sandviç yapılar elde edilir. Kafes yapıların bir örneği olan sandviç yapıların üretiminde geleneksel üretim yöntemlerinden faydalanılır. J. Xiong vd. (2014) elektro erozyon yöntemiyle sandviç panellerin üretimini yapmıştır (Şekil 9). Üretimde, düz oluklu karbon fiber kompozit çekirdekler sıcak pres kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Ardından, sandviç paneller oluşturmak için her bir oluklu kafes yapı çekirdeğine kompozit tabaka yapıştırılmıştır.

**Şekil 9. EDM ile Üretilen; Kafes Çekirdeğin Birim Hücresinin Şematik Görüntüsü (a), EDM Karbon Fiber Kompozit Piramidal Kafes Çekirdek Sandviç Yapısı (b).**



Levhalar arasındaki kafes yapı EDM işlemiyle piramide benzer panellere dönüştürülmüştür. Bu kafes yapının hafif olması ve aynı zamanda darbeler karşısında enerji absorpsiyonu

sağlaması amaçlanmıştır. Bu çalışmada da örneği görüldüğü üzere kafes yapıların üretiminde talaşlı üretim ile yapıştırma ve pres kalıplama gibi teknikler bir arada kullanılabilir.

Kafes yapıların üretiminde talaşlı üretimin yanında, döküm ve haddeleme gibi metalurjik yöntemler de kullanılmıştır. Özellikle köprü ve çeşitli mimari yapılarda ahşap yerine metal kafes yapılar tercih edilmiştir. Bu tarz makro boyutlardaki kafes yapıların üretiminde geleneksel üretim yöntemlerinin bir veya birkaçı bir arada kullanılmıştır. Kafes yapı esasına dayanarak dayanımı artırılan ve metalurjik yöntemlerle üretilen meşhur yapılardan biri Eysel Kulesi'dir. Eysel kulesinin kirişleri dövme demir olarak üretilmiş ve kirişler perçinlerle birleştirilmiştir. Benzer üretim yöntemleriyle üretilen çok sayıda köprü ve benzeri yapılar bulunmaktadır. Kafes yapıların üretimlerinde döküm tekniğinden sıkça faydalanılır. Döküm, sıvı metalin bir kalıba konulması ve soğumaya bırakılması işlemidir. Kafes yapının ana şekillendirme işlemi döküm olarak yapılsa bile talaşlı imalat gibi ikincil bir işlem ile son şekillendirme yapılabilir.

**Şekil 10. Lova Nehri Üzerindeki Demir Köprü(A), Eysel Kulesi (B).**



Döküm yöntemi çoğunlukla metallerle kullanılır. Basınçlı döküm, kum döküm ve hassas döküm en yaygın üç döküm türüdür. Basınçlı döküm: erimiş metalin büyük bir basınç altında yeniden kullanılabilir metal kalıplara preslendiği bir süreçtir. Erimiş metal sertleştikten sonra kalıptan çıkarılır. Basınçlı döküm öncelikle alüminyum ve çinko gibi demir dışı metaller için

kullanılır. Bununla birlikte, yüksek ön yatırım maliyetleri nedeniyle, yalnızca büyük üretim çalışmaları için uygundur. Kum döküm yönteminde, nemli kumdan tek kullanımlık bir kalıplar kullanılır. Kum öncelikle belirli bir kalıp içerisinde preslenir. Erimiş metal bir kum kanalından kalıbın içine dökülür. Metal sertleştğinde kum temizlenir. Birçok metal, hatta yüksek erime sıcaklığına sahip olan metaller bile kum kalıplara dökülebilir. Diğer döküm yöntemlerine göre daha karmaşık kafes yapıların üretimi bu yöntemle mümkün olabilir. Kum kalıp dökümü ile üretilebilecek karmaşık kafes yapı tasarımları kısıtlıdır. Ancak eklemeli üretim yöntemleriyle üretilen kafes yapılarda çok daha karmaşık tasarımların üretimi mümkündür. Bu yöntemin diğer bir dezavantajı pürüzlü bir yüzey oluşturması ve diğer döküm tekniklerine göre daha az hassas olmasıdır. Bu yöntem ile üretilen kafes yapıların son işleminden geçmesi gerekebilir. Hassas döküm yöntemi malzemenin seramik ile kaplandıktan sonra ısıtılıp kalıptan çıkarılması ve eriyik metalin kalıba dökülmesi işlemidir. Bu yöntem ile küçük ve dökümü zor olan parçalar üretilir. Çelik alaşımlar, alüminyum, paslanmaz çelik gibi pek çok metalin üretimi hassas döküm ile yapılabilir. Hassas döküm ile karmaşık tasarımlara sahip veya küçük kafes yapı tasarımları üretilebilir.

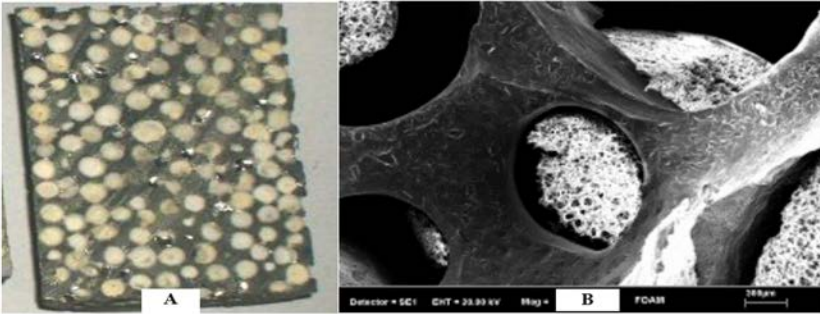
Kafes yapıların üretim yöntemleri açısından ilginç örneklerinden biri metalik köpüklerdir. Metalik köpüklerin üretiminde döküm yöntemlerinin özel bir uygulaması kullanılır. Metal köpük üretiminde, metalik eriyikler içerisinde sıvı ve gaz kabarcıkları oluşturarak kafes yapı üretilir. Normalde, metalik bir eriyikte oluşan gaz kabarcıkları, yüksek yoğunluklu sıvıdaki yüksek kaldırma kuvvetleri nedeniyle hızla yüzeye çıkma eğilimindedir. Bu yükselme, erimiş metalin viskozitesini artırarak, eriyikte stabilize edici parçacıklar oluşturmak için ince seramik tozları veya alaşım elementleri ekleyerek veya başka yollarla engellenebilir. Metal köpük ile kafes yapı elde etmek için üç temel prensipten faydalanılır; sıvı metale harici bir kaynaktan



gaz enjekte etmek, erimiş metale gaz salan şişirici maddeler karıştırarak sıvı içinde yerinde gaz oluşumu sağlamak, daha önce sıvı içinde çözünmüş olan gazın çökmesi prensibini kullanarak. Metalik köpükler, hücresel kafes yapıya sahiptir. Aynı zamanda bu yöntem; meso ve mikro boyutlarda kafes yapıların üretimine olanak sağlar.

Yavuz (2012) çalışmasında kafes yapıların araç kazalarında darbe emici olarak kullanılabileceğini önermiştir. Araçların çeşitli bölgelerinde kullanılabilecek alüminyum kafes yapıları metalik köpük döküm yöntemleri ile üretmiştir (Şekil 11). Kafes yapıların araç tasarımlarında (motor kaputu, tampon dış bölümü vb.) kullanılmasıyla kaza esnasında oluşacak darbelerin absorbe edilerek kullanıcı ve yayalara daha az iletilerek yaralanma riskleri azaltılabilir.

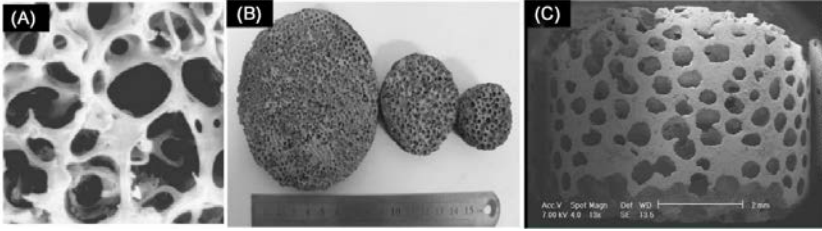
**Şekil 11. Döküm ile Üretilen Al Köpük (A) ve SEM Görüntüsü (B).**



Metalik köpük ile üretilen kafes yapıların diğer bir uygulaması biyomedikal alanda karşımıza çıkmaktadır. İmplant ve benzeri ürünlerde biyolojik sabitlemeyi geliştirmek ve ortopedik stabiliteyi artırmak için kafes yapılardan yararlanılmaktadır (Matassi vd. 2013). Singh ve Bhatnagar (2018) gözenek boyutu, yüzde gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı, gözenekler arası bağlantı, yüzey topografisi, yüzey kimyası ve diğer çeşitli mekanik özellikler gibi özellikler implantların mekanik özelliklerinde ve dokuların bu yüzeylere

tutunabilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır ve bu nedenle bu kafes yapıların çok dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kemik dokusu mühendisliğinde, kemik dokusu oluşumu için gerekli olan hücresel etkileşimleri elde etmek için genellikle yüksek gözenekli kafes yapılar tasarlanır. Bu gözenekli metalik kafes yapılar sadece gerekli desteği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda doğal kemik dokularının hücre dışı matrisini taklit eder ve hayati hücre besinlerinin birbirine bağlı gözeneklerden difüzyonunu sağlayarak hücrelerin çoğalmasını geliştirir (Lascano vd., 2019).

**Şekil 11. Kemik Yapısı (A), Kemik Yapısına Benzer Titanyum Köpük (B); Tutucu Olarak Kullanılan Magnezyum Köpük (C).**



Bu gözenekli metalik yapılar SS, Ti, Zr, Nb, Mb ve Mg alaşımları vb. dahil olmak üzere çeşitli biyouyumlu malzemelerden döküm yöntemleri kullanılarak üretilebilir. Şekil 11’de kemik dokuların gelişimine olanak sağlayacak kafes yapıya sahip malzemeler döküm yöntemleriyle Ti ve Mg alaşımlarından üretilmiştir (Munir vd., 2020).

### **3. KAFES YAPILARIN EKLEMELİ ÜRETİMİ**

ISO/ASTM 52900 terminoloji standardında tanımlandığı şekliyle eklemeli üretim; 3D model verilerinden parçalar yapmak için malzemelerin katmanlar halinde birleştirilmesi sürecidir. Bu yöntem ile hammadde, eksiltmeli (Subtractive) üretim yöntemlerinin aksine katman katman birleştirilir. Katmanlı imalatın temeli 1980’li yıllara kadar uzanmaktadır. Dr. Hideo



Kodama UV ışığı ile polimerize olabilen bir reçine kullanarak eklemeli üretim yapabilen bir cihazın patentini almıştır. Ancak, finansman yetersizliği nedeniyle fikri yeterli ilgi göremedi. Birkaç yıl sonra, Chuck Hull, ilk hızlı prototipleme sistemi olarak kabul edilen stereolitografi cihazının patentini aldı ve stereolitografiyi ticarileştirmek için 3D Systems isimli firmayı kurdu. Hull'un buluşundan bir yıl sonra, Austin'deki Texas Üniversitesi'nden Carl Deckard, başka bir eklemeli üretim teknolojisi olan seçici lazer sinterlemeyi (SLS) geliştirdi. SLS yöntemi, 3D nesneler oluşturmak üzere küçük plastik, metal veya seramik parçacıklarını kaynaştırmak için bir lazer kullanılması esasına dayanır. 1989 yılında Stratasys'in kurucusu Scott Crump, bir başka popüler 3D baskı teknolojisi olan kaynaşmış biriktirme modellemesini icat etti. FDM, 3D nesneyi oluşturmak için katılaşan erimiş plastik malzemeden bir filamentin ekstrüzyonu ile çalışır.

Eklemeli üretim için kullanılan terimler arasında 3D baskı (3D Printing), doğrudan dijital imalat, serbest biçimli imalat, hızlı imalat ve hızlı prototipleme yer alır. Sektörel kullanımında ve ASTM standardında burada belirtilen terimler birbirleri yerine geçebildiği görülmektedir. Ancak kullanılan terim ne olursa olsun ifade edilmek istenen temel kavram üretimin katmanlar halinde yapılmasıdır. Karmaşık geometrilere sahip kafes yapılar, üretim maliyetini önemli ölçüde artırmadan bu yöntem ile üretilebilir.

**Tablo 1. 3DP Teknolojileri**

| <b>İşlem Kategorileri</b>  | <b>Teknoloji</b>                                                      | <b>Malzeme</b>           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Bağlayıcı Püskürtme        | Mürekkep Püskürtme (Ink Jetting), S Print, M Print                    | Metal, Polimer, Seramik  |
| Doğrudan Enerji Biriktirme | Doğrudan Metal Biriktirme, Lazer Biriktirme, Elektron Işını Ergitme   | Metal Tozları, Tel Metal |
| Malzeme Ekstrüzyonu        | Ergimiş Filament Yığma, Ergimiş Filament Üretimi                      | Polimer                  |
| Malzeme Jeti               | Çoklu Püskürtme, Mürekkep Püskürtme                                   | Fotopolimer              |
| Toz Yatak Füzyonu          | Seçici Lazer Sinterleme, Seçici Lazer Ergitme, Elektron Işını Ergitme | Metal, Polimer, Seramik  |
| Sac Laminasyon             | Tabakalı Nesne Üretimi, Ultrasonik Katmanlı Üretim                    | Metal Seramik            |
| Fotopolimerizasyon         | Stereolitografi, Dijital Işık İşleme                                  | Fotopolimer, Seramik     |

**Kaynak:** (Yuran ve Yavuz, 2021)

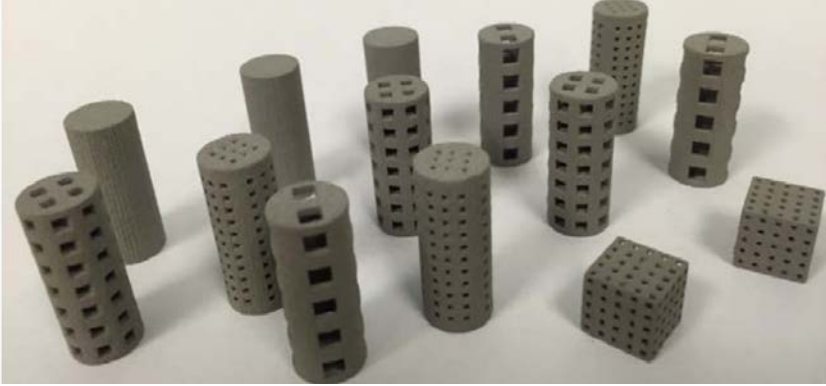
Kafes yapıların 3D yazıcılar ile üretiminde kullanılabilecek olan farklı teknolojiler ve her bir teknolojinin kullanabildiği malzeme türleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Kafes yapılar biyomedikal teknolojilerde çok fazla uygulama alanı bulmaktadır. Hasara uğramış kemik yapıların tedavilerinde plak, vida ve çeşitli implantlar harici fiksator kullanılmaktadır. Bu fiksatorler uygulandığı doku üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bununla birlikte fiksatorlerin biyouyumluluğunun sağlanması zorlu bir süreçtir. Kemik tedavilerinde harici fiksatorleri kullanmak yerine hasarlı bölgeye hücre ekilmesi, ekilen hücrelerin çoğaltılması ve böylece dokunun yenilenmesi ve doğrudan iyileştirmesi fikri üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Hücrelerin belirli bir yerde ve istenilen yönde çoğaltılabilmesi için iskele yapıları kullanılmaktadır. Kafes yapısına sahip iskeleler son yılların gözde çalışma konularındandır. Kafes yapılar, kemiğin doğal hücre dışı matrisini taklit ettiği için dokunun iyileşmesinde

önemli bir rol oynar. Bu kafes yapılar mekanik olarak yerel streslere dayanacak kadar güçlü ve aynı zamanda biyouyumlu olmalıdır. Kafes yapıya sahip hücre iskelelerin geleneksel yöntemlerle üretiminde; birim hücre boyutlarının ve hücrelerin oluşturduğu yapının kontrolü en büyük problemdir. Geleneksel yöntemlerde birim hücrelerin boyutlarını tasarlamak mümkün değildir. Ancak eklemeli üretim ile çeşitli gözenek şekillerine, boyutlarına ve ayrıca birbirine bağlı gözenek ağına sahip bir yapı oluşturabilir. Hatta kemiğin yapısı taklit edilerek kemiğe çok benzer bir kafes yapı üretilir.

### **3.1. Bağlayıcı Püskürtme**

Bağlayıcı püskürtme teknolojisi, Massachusetts Institute of Technology (MIT)’de keşfedilmiştir ve “3D Printer” adıyla patentlenmiştir. Bu yöntemde oldukça ince tozların yapıştırıcı kimyasallar ile katmanların oluşturulduğu teknolojidir (Gibson vd., 2021). Bu teknolojiyi kullanan 3D yazıcılarda seramik esaslı veya metal tozları hammadde olarak kullanılabilir (Gonzalez vd. 2016).

#### **Şekil 12. Bağlayıcı Püskürtme ile Üretilmiş Farklı Kafes Yapılar**



Kafes yapılardan kemik hücre iskelelerin üretilmesi için binder jetting eklemeli üretim yöntemini kullanan çalışmalar ivme kazanmıştır. Bağlayıcı jet teknolojisi, üretim sürecinde ısı kullanmadığı için kafes yapıları hücre iskelelerinin üretiminde

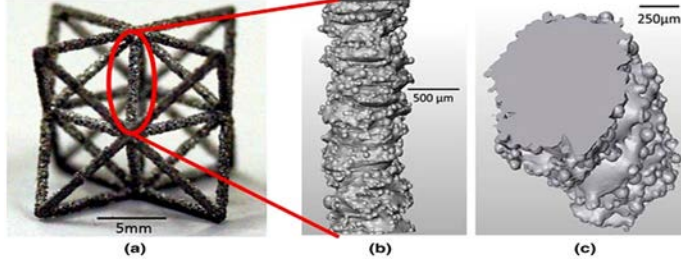
diğer yöntemlere göre avantajlıdır. Vangapally vd. (2016), yaptıkları çalışmada paslanmaz 316 – SS316 paslanmaz çelik tozlar kullanarak kemik hücre iskelelerinin üretimini bağlayıcı püskürtme yöntemi ile yapmıştır (Şekil 12). Çalışma kapsamında dört farklı kafes tasarımı bağlayıcı jet işleminin değişen işlem parametreleri ile üretilmiştir. Üretilen kafes yapılar boyutsal doğrulukları ve mekanik özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Hücre iskelelerinin performansın kafes tasarımının önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. İşleme parametrelerinin farklı özelliklere sahip iskelelerin tasarlanmasına yardımcı olduğu kanıtlanmıştır.

### **3.2.Doğrudan Enerji Biriktirme**

Kafes yapıların Doğrudan Enerji Biriktirme (Direct Energy Deposition-DED) prensibi ile üretimde tel veya toz haldeki malzeme çok yüksek sıcaklıklarda ergitilerek katmanlar halinde birbirine eklenir (Friel, 2015). Bu süreçte hammadde ergitilmiş halde doğrudan baskı tablası üzerine dökülür (Bae, 2018). Bu süreçte kullanılan ısı kaynağı genellikle lazer veya plazma ark kaynağıdır. Özellikle, titanyum alaşımları ile üretilen kafes yapılar düşük ağırlıkları ve daha yüksek performansları için tercih edilmektedir. Son yıllarda bu özellikleri nedeniyle Ti-6Al-4V kafes yapıların üretiminde EBM yöntemi sık kullanılmaktadır (Del Guercio vd., 2022).

Suard vd. (2014), yaptıkları çalışmada uzay araçlarında kullanılabilecek kafes yapıların üretimini EBM ile yapmıştır (Şekil 13). Çalışmada kafes yapının bir birim hücresinin yapısal karakterizasyonunu içermektedir. Amaçları, bu ölçekte tespit edilen 'kusurları' dikkate alarak kafes yapının mekanik özelliklerini iyileştirmektir.

**Şekil 13. EBM ile Üretilmiş Kafes Yapının Birim Hücresi (a), Hücrenin Kirişinin Görünüşü (b) ve Kirişin İzometrik Görünüşü (c)**



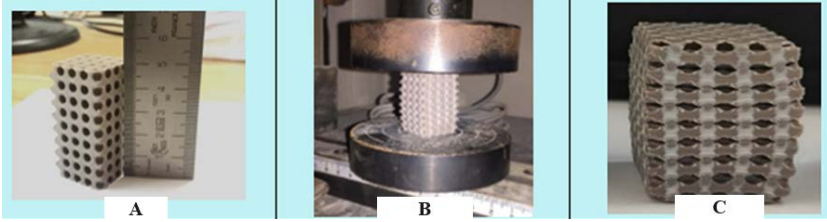
Çalışmada yapının sadece geometrik kusurları ele alınmaktadır. Dijital ortamda tasarlanan kafes yapıyla EBM ile üretilmiş gerçek yapı arasında oluşan geometrik hatalar incelenmiştir. Kafes yapıların eklemeli imalat ile üretimlerinde belirlenen parametreler yapının geometrik doğruluğunu etkilemektedir. Sonuç olarak, EBM ile üretilen kafes yapılar uzay ve havacılık gibi hafif yapıların kullanımının gerektiği alanlarda kullanılmaktadır.

### **3.3.Malzeme Ekstrüzyonu**

Malzeme Ekstrüzyonu teknolojisiyle kafes yapıların üretiminde hammadde olarak tel haldeki ABS, PLA veya Ultem gibi termoplastikler polimerler kullanılır. Tel haldeki bu hammaddeler filament olarak adlandırılır. Üretim sırasında filament bir nozzle'ın içinde ısıtılarak baskı tablası üzerinde katmanlar halinde dökülür. Bu teknolojiyi kullanan yazıcılar Fused Deposition Modeling (FDM) veya Fused Filament Fabrication (FFF) olarak da isimlendirilir. Hem yazıcıların hem de filamentlerin maliyetlerinin nispeten düşük olması nedeniyle kafes yapıların üretiminde en yaygın olarak kullanılan yazıcılardır. Bu teknolojiye sahip 3D yazıcılarla, kafes yapının tüm matris boyunca morfolojik varyasyona sahip birbirine bağlı kafes hücrelerinin esnek bir şekilde üretilmesi mümkündür. Otomotiv sektöründe; yakıt tüketimi ile buna bağlı olarak

emisy on değ erleri ve taşı t parç alarındaki ağı rlık tasarrufu sağı lanması durumları polimer ve polimer kafes yapı lara olan ilgiyi beraberinde getirmektedir. Günü mızde binek araç ların çeş itli kısımlarında kullanılmaya baş layan polimer esaslı kafes yapı lar bulunmaktadır. Tamponlar, araç ön göğ sü, güneş lik, yan darbe koruması, arka raf, direksiyon kolu kaplaması polimer gözenekli malzemelere ö rnek olarak verilebilir (Yetgin ve Ü nal, 2008). Bu bölgelerde kullanılan kafes yapı ların ö ncelikli amacı kazalar esnasında darbelerin sönümlenerek yolculara iletiminin azaltılmasıdır.

**Ş ekil 14. Darbe Emici Malzeme A: Üretim Sonrası Görüntü, B: Basma Testi Görüntüsü, C: Test Sonrası Görüntü.**

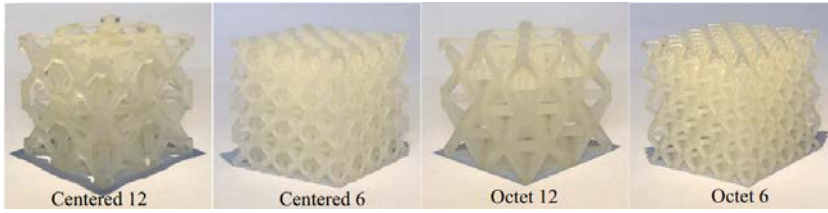


Yavuz ve Yıldırım (2023), yaptıkları çalışmada araç ların farklı bölgelerinde kullanılabilecek taşı tlarda pasif güvenlik önlemleri arasında giren kafes yapı lar tasarlamıştır. Darbe emici olarak kullanılabilecek bu kafes yapı ları FDM 3D yazıcı larla üretmiş lerdir (Ş ekil 14). Çalışmada farklı gözenek boyutu ve şek illerine sahip kafes yapı lar üretilerek, darbe emici özellikleri kıyaslanmıştır. Elde ettikleri bulgulara göre; eş it hücre duvarına sahip fakat hücre boyutu değ iş kenlik gösteren numunelerde yoğunluğ a göre bir darbe absorbe miktarı söz konusudur. Yoğunluk arttıkça darbe absorbe miktarı da artmaktadır. Buna bağı lı olarak yüksek enerji sönümlenmesi istendiğ inde yüksek yoğunluklu yani düşük gözeneklere sahip kafes yapı lar kullanılması tavsiye edilmektedir.

### 3.4. Malzeme Püskürtme

Malzeme jeti diğer 3B yazıcı türlerine göre nispeten daha yeni bir tekniktir. İşlem süreci oldukça hassas ve hızlıdır. UV ışığına veya yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında sertleşen fotopolimerler veya balmumu gibi malzemeler katmanların oluşturulması için kullanılır. Çok malzemeli üretime imkân tanıyan bir teknolojidir. Malzeme jeti teknolojisini kullanan 3D yazıcılardan biri Çoklu Püskürtme'dir. Meisel vd. (2018), Çoklu Püskürtme teknolojisini kullanarak farklı tasarımlara sahip kafes yapılar üretmiştir. Çalışmalarında kafes yapıların minimum üretilebilir özellik boyutu, destek kaldırma, destek kaldırma sırasında küçük özelliklerin hayatta kalması ve maksimum kendini destekleme açısı gibi temel üretim kısıtlamalarını araştırmıştır (Es-Said vd., 2000).

**Şekil 16. Farklı Tasarımlara Sahip Kafes Yapıları**



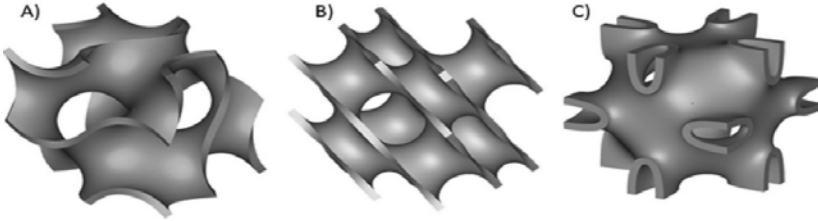
Lucklum ve Vellekoop (2015), 100  $\mu\text{m}$ 'ye kadar özellik boyutuna sahip kafes yapıları 3D fononik malzemeler üretmek için projeksiyon tabanlı stereolitografinin fizibilitesini göstermiştir. McGregor vd. (2019), üretimdeki AM kafes yapıların izlenmesi, nitelikliliği ve kontrolü için kafesin birim özelliklerinin taranması ve otomatik olarak çıkarılması için bir yöntem geliştirmiştir. Kafes yapılarda tüm parçanın yapı taşı olarak, birim hücre tasarımı genel mekanik özellikler üzerinde çok önemli bir role sahiptir. Eren vd. (2022) farklı hücre tasarımına sahip kafes yapıların üretim parametrelerini değişken olarak kabul ederek üretmiştir (Şekil 16). Üretilen kafes yapıları basma testi kullanarak mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Hücre yapısının

değişimiyle kafes yapının elastisite modülünü ve oluşan maksimum gerilmeleri karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, hücre ölçeklerinin küçültülmesi ile mekanik özelliklerin arttığı görülmektedir.

### **3.5.Toz Yatağı Füzyonu**

Toz Yatağı füzyon teknolojileri, toz parçacıklarına katmanlar oluşturacak şekilde ergitilerek veya sinterlenerek birbirine kaynatılması prensibini kullanır. Toz halindeki hammadde erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakıldığında parçacıklar birbirlerine temas ettikleri noktalardan başlayarak birbirine kaynamaya başlar (Martin vd., 2019). Burada kullanılan hammadde plastik veya metal toz parçaları olabilir. PBF 3B yazıcılar, üretim sürecinde lazer veya elektron ışını gibi kullandığı enerji kaynaklarına göre ile farklılaşır.

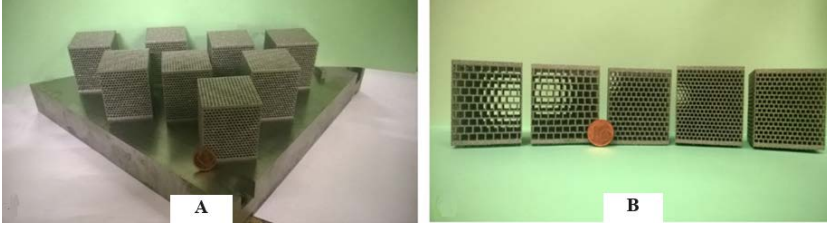
**Şekil 17. Karmaşık Geometrilere Birim Hücreler; Gyroid (A), Diamond (B) ve Neovius (C)**



Seçici Lazer Sinterleme, Seçici Lazer Ergitme, Elektron Işını Ergitme ve çoklu jet füzyonu bu prensibi kullanan farklı teknolojilerdendir. Katmanlı üretim (AM) süreçleri arasında özellikle SLM, kafes yapıların karmaşık hücre yapılarında, değişik iç geometrilere ve topolojilere sahip yapılar oluşturmak için benzersiz fırsatlar sağlamıştır (Şekil 17).



**Şekil 18. SLM (A) ve EBM (B) ile Üretilmiş Kafes Yapılar**



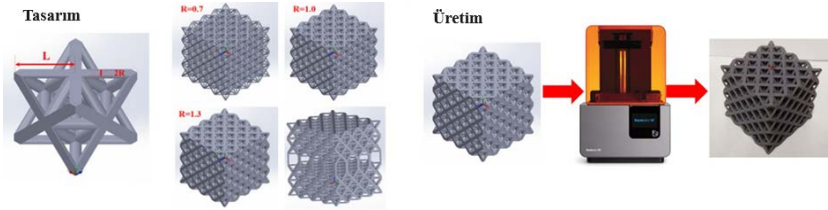
De Pasquale vd. (2019), seçici lazer eritme (SLM) ve elektron ışını eritme (EBM) yoluyla üretilen kübik hücrelere dayanan kafes yapılarının deneysel bir karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir (Şekil 18). Çalışmada basınç altındaki kafes hatası, proses tipolojisinin, malzeme özelliklerinin ve birim hücrenin boyutsal parametrelerinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Kafes yapının geometrik parametreleri ile mekanik dayanımı arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, eklemeli üretim sürecinde kullanılan parametreler, malzemeler ve kafes yapının nihai özellikleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir.

### **3.6.Fotopolimerizasyon**

Fotopolimerizasyon, bir fotopolimer reçinenin belirli bir dalga boyunun ışığına maruz kaldığında kimyasal bir reaksiyonla katı hale geldiği süreçtir (Bagheri ve Jin, 2019). Bazı 3B yazıcılar katmanları oluşturmak için fotopolimerizasyon prensibini kullanır. Stereolithography (SLA), Direkt Işık Prosesi (DLP) ve Sürekli DLP (CDLP) teknolojileri bu prensibe dayalı 3B yazıcılardır. Genel olarak, fotopolimerizasyon ile üretim yapan 3D yazıcılar malzeme ekstrüzyonu yapan yazıcılara göre daha hızlı, daha ekonomik ve yüksek hassasiyetle son derece karmaşık 3B yapılar üretme yeteneğine sahip olarak kabul edilir (Jimenez vd. 2019; Uribe-Lam vd. 2021). Ayrıca bu yöntemde, kafes yapının hücrelerinin üretiminde içi boş yapılar oluşturmak için destek yapılarına gerek yoktur (Nazir vd., 2019). Bu nedenle, kafes yapılar gibi karmaşık parçaların yüksek doğrulukla

basılması için idealdirler. Ling vd. (2019), farklı yoğunluk ve mukavemetlere sahip iki polimer reçinesi kullanarak SLA tarafından inşa edilen oktet-kafes kafes yapılarını karşılaştırmıştır. Yapıların mekanik davranışı hem yarı statik hem de dinamik basınçlı yükleme altında incelenmiştir. Sekizli kafeslerin mekanik tepkisinin hem bağlı yoğunluğa hem de içsel malzeme özelliklerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

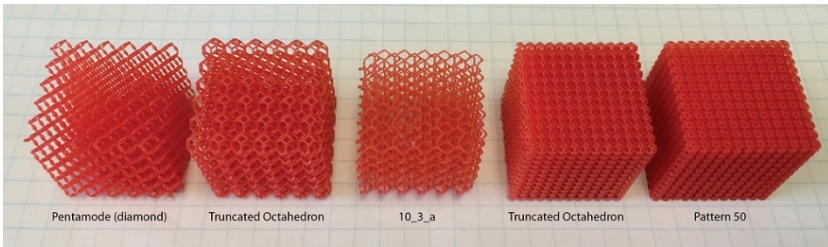
**Şekil 19. Kafes Yapıların SLA ile Üretim Süreci**



**Kaynak:** (Ling vd., 2019)

Luxner vd. (2005), sıkıştırma altında hem DLP hem de SLS kullanılarak üretilen farklı birim hücrelere sahip kafeslerin mekanik tepkisini karşılaştırmıştır. Fabrikasyon sürecinin gövde merkezli kübik kafeslerde hiçbir etkisi olmadığını, ancak basit kübik kafeslerde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

**Şekil 20. SLA ile Üretilen Minyatür Kafes Yapılar**



#### 4. SONUÇ

Kafes yapılar bir birim hücrenin çok sayıda periyodik olarak tekrarı ile oluşturulan gözenekli yapılardır. Kafes yapıların en önemli özelliği oldukça hafif olmasına rağmen mükemmel bir

dayanıma sahip olmalarıdır. Bunun yanında son yıllarda yapılan çalışmalar kafes yapıların kuvvetler karşısında enerji absorpsiyonu, ısı ve akustik yalıtım özellikleri konusunda da önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir. Kafes yapılar yeni ürün tasarımlarında her geçen gün daha sık kullanılmaktadır. Bu anlamda yeni tasarımlarda kullanılabilecek kafes yapıların üretim yöntemleri önem kazanmıştır. Bu çalışmada kafes yapıların farklı üretim yöntemleri konusunda detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Kafes yapılar doğanın temel yapı taşlarından biridir. Arı kovanlarının bal peteği ve hatta kemiklerin iç yapısı biyolojik kafes yapılara örnektir. Mühendislikte kafes yapılar, Eysel Kulesi'nden uçak kanatlarının sandviç panellerine kadar uzanan uygulamalarla uzun zamandır hafif ve aynı zamanda dayanımı yüksek tasarımın temel taşlarından biri olmuştur. Kafes yapıların ilk örnekleri; talaşlı şekillendirme, döküm, kalıplama, birleştirme gibi yöntemler ve bu yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla üretilmişlerdir. Kafes yapıların üretiminde temel üretim yöntemi olarak çalışmada bahsedilen geleneksel yöntemler ana temeli oluşturmuştur. Ancak eklemeli üretimin yaygınlaşmasıyla kafes yapıların üretim yöntemi ağırlıklı olarak bu yöne kaymıştır. Dolayısıyla kafes yapıların üretim yöntemleri geleneksel ve eklemeli olmak üzere iki sınıflandırma içinde değerlendirilebilir. Literatürde özellikle 2000'li yıllardan sonra yapılan çalışmalarda kafes yapıların üretim yöntemleri incelendiğinde çok büyük oranda eklemeli üretim yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda eklemeli üretim yöntemler her geçen gün daha da geliştirilmektedir. Yeni eklemeli üretim teknolojileri ve eklemeli üretimde kullanılabilecek yeni malzemeler, kafes yapıların üretimi için de yeni fırsatlar doğurmaktadır. Bu açıdan bakıldığında önümüzdeki yıllarda kafes yapıların üretiminde eklemeli üretim yöntemlerinin daha fazla yer alacağı öngörülmektedir.

## **KAYNAKÇA**

- Abdelaal, O.A., Darwish, S.M. (2011). Fabrication of Tissue Engineering Scaffolds Using Rapid Prototyping Techniques. *Int. J. of Industrial and Manufacturing Eng.*, 5(11), 2310-2318.
- Bagheri, A. ve Jin, J. (2019). Photopolymerization in 3D Printing. *ACS Applied Polymer Materials*, 1(4), 593-611.
- Barynin, V., Bunakov, A., Rasin, F., Vasiliev, V. (1999). Aerospace Composite Lattice Structures. *Proceedings of the 120th Int. Conf. On Composite Mat.* (pp. 5-9), Paris, France.
- Collins, M., Bassett, J., Wen, H., Gervais, C., Lomicka, M. ve Papanicolaou, S. (2012). Trabecular Metal Dental Implants: Overview of Design and Developmental Research.
- Cong, H. ve Cao, W. (2006). Preparation of Ordered Porous NaCl and KCl Crystals. *Solid State Sciences*, 8(9), 1056-1060.
- DePasquale, G., Luceri, F. ve Riccio, M. (2019). Experimental Characterization of SLM and EBM Cubic Lattice Structures for Lightweight Applications. *Experimental Mechanics*, 59,469-482.
- Dynamics Of Pore Formation During Laser Powder Bed Fusion Additive Manufacturing. *Nature Communications*, 10(1), 1987.
- Eren, O., Sezer, H.K., ve Yalçın, N. (2022). Effect of Lattice Design on Mechanical Response of PolyJet Additively Manufactured Cellular Structures. *Journal of Manufacturing Processes*, 75, 1175-1188.
- Es-Said, O.S., Foyos, J., Noorani, R., Mendelson, M., Marloth, R.ve Pregger, B.A. (2000). Effect Of Layer Orientation

- On Mechanical Properties Of Rapid Prototyped Samples. Materials and Manufacturing Processes, 15(1), 107-122.
- Friel, R.J. (2015). Power Ultrasonics For Additive Manufacturing And Consolidating Of Materials. Power Ultrasonics (pp. 313-335). Woodhead Publishing.
- George, J. ve Stucker, B. (2006). Fabrication of Lightweight Structural Panels Through Ultrasonic Consolidation. Virtual and Physical Prototyping, 1(4), 227-241.
- Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B. ve Khorasani, M. (2021). Additive Manufacturing Technologies (Vol. 17, pp. 160-186). Cham, Switzerland: Springer.
- Guerra S.R., Torres, M.J., Zahr V.J. ve Zamora, A.G. (2021). Manufacturing and Characterization of 3D Miniature Polymer Lattice Structures Using Fused Filament Fabrication. Polymers, 13(4), 635.
- Helou, M. ve Kara, S. (2018). Design, Analysis and Manufacturing of Lattice Structures: An Overview. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 31(3), 243-261.
- Ishak, I. ve Larochelle, P. (2017, May). Robot Arm Platform for Additive Manufacturing: 3D Lattice Structures. 30th Florida Conf. on Recent Advances in Robotics (pp. 11-12). Florida, May.
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I.A., Espinosa, M.D.M. ve Domínguez, M. (2019). Additive Manufacturing Technologies: An Overview About 3D Printing Methods and Future Prospects. Complexity.
- Jones, S.M. (2006). Aerogel: Space Exploration Applications. Journal Of Sol-Gel Science And Technology, 40, 351-357.

- Khodaei, M. ve Toghyani, S. (2019). Optimum Spacer Removal And Sintering Temperature For Porous Magnesium Scaffold Fabrication. *Journal of Tissues and Materials*, 2(2), 48-57.
- Kistler, S.S. (1931). Coherent Expanded Aerogels And Jellies. *Nature*, 127(3211), 741-741.
- Lascano, S., Arévalo, C., Montealegre-Melendez, I., Muñoz, S., Rodriguez-Ortiz, J.A., Trueba, P. ve Torres, Y. (2019). Porous Titanium for Biomedical Applications: Evaluation of The Conventional Powder Metallurgy Frontier And Space-Holder Technique. *Applied Sciences*, 9(5), 982.
- Liu, P. S., Qing, H.B. ve Hou, H.L. (2015). Primary Investigation On Sound Absorption Performance Of Highly Porous Titanium Foams. *Materials & Design*, 85, 275-281.
- Ling, C., Cernicchi, A., Gilchrist, M.D. ve Cardiff, P. (2019). Mechanical Behaviour of Additively Manufactured Polymeric Octet-Truss Lattice Structures Under Quasi-static and Dynamic Compressive Loading. *Materials & Design*, 162, 106-118.
- Lucklum, F. ve Vellekoop, M. J. (2015). Rapid Prototyping Of 3d Phononic Crystals Using High-Resolution Stereolithography Fabrication. *Procedia Engineering*, 120, 1095-1098.
- Luxner, M.H., Stampfl, J. ve Pettermann, H.E. (2005). FE Modeling Concepts And Linear Analyses Of 3D Regular Open Cell Structures. *Journal of Materials science*, 40, 5859-5866.
- Maconachie, T., Leary, M., Lozanovski, B., Zhang, X., Qian, M., Faruque, O., Brandt, M. (2019). SLM Lattice Structures: Properties, Performance, Applications, Challenges. *Materials & Design*, 183, 108137.

- Matassi, F., Botti, A., Sirleo, L., Carulli, C. ve Innocenti, M. (2013). Porous Metal for Orthopedics İmplants. Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism, 10(2), 111.
- McGregor, D.J., Tawfick, S. ve King, W.P. (2019). Automated Metrology And Geometric Analysis Of Additively Manufactured Lattice Structures. Additive Manufacturing, 28, 535-545.
- Meisel, N.A., Dillard, D.A. ve Williams, C.B. (2018). Impact of Material Concentration and Distribution on Composite Parts Manufactured via Multi-Material Jetting. Rapid Prototyping Journal, 24(5), 872-879.
- Munir, K., Biesiekierski, A., Wen, C. ve Li, Y. (2020). Powder Metallurgy İn Manufacturing Of Medical Devices. Metallic Biomaterials Processing and Medical Device Man. (pp. 159-190).
- Nazir, A., Abate, K.M., Kumar, A. ve Jeng, J.Y. (2019). A State of The Art Review on Types, Design, Optimization, and Additive Manufacturing of Cellular Structures. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 104, 3489-3510.
- Seitzberger, M., Rammerstorfer, F.G., Degischer, H.P., ve Gradinger, R. (1997). Crushing of Axially Compressed Steel Tubes Filled With Aluminium Foam. Acta Mechanica, 125, 93-105.
- Singh, S. ve Bhatnagar, N. (2018). A survey of Fabrication And Application Of Metallic Foams (1925–2017). Journal of Porous Materials, 25, 537-554.
- Uribe-Lam, E., Treviño-Quintanilla, C.D., Cuan-Urquizo, E. ve Olvera-Silva, O. (2021). Use Of Additive Manufacturing For The Fabrication Of Cellular And Lattice Materials: A

Review. Materials and Manufacturing Processes, 36(3), 257-280.

Xiong, J., Wang, B., Ma, L., Papadopoulos, J., Vaziri, A. ve Wu, L. (2014). Three-dimensional Composite Lattice Structures Fabricated by Electrical Discharge Machining. Experimental mechanics, 54, 405-412.

Yavuz, İ. (2012) Taşıtlarda Kullanılan Metal Köpüklerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi. Doktora Tezi. Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Yin, L., Peng, H.X., Yang, L. Su, B. (2008). Fabrication of Three-Dimensional Inter-Connective Porous Ceramics Via Ceramic Green Machining And Bonding. Journal of the European Ceramic Society, 28(3), 531-537.

Yuran, A.F. (2013), Doğadan Esinlenerek Sistematiik Ürün Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Yuran, A.F. ve Yavuz, İ. (2021). Endüstri 4.0 ve 3 Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması. Mühendis ve Makina, 62(704), 580-606.



# **THE COMPATIBILITY OF THE STUDENTS WHO TAKE COMPUTER-AIDED DRAWING COURSE IN THE TECHNICAL DEPARTMENTS OF VOCATIONAL HIGH SCHOOL AND THE BENEFITS OF TAKING THIS COURSE IN BUSINESS LIFE**

**Muhammed Mustafa UYAR<sup>1</sup>**

**Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT<sup>2</sup>**

**Mahmut UYAR<sup>3</sup>**

## **1. INTRODUCTION**

Computers and computer technologies, which we encounter in every field in our daily lives, have an important place among technical staff. The continuous development and renewal of digital technologies has changed the traditional design and presentation forms and increased the possibilities of computer-aided drawing, planning, design and presentation. The fact that software companies increase the number of their products and provide new opportunities and advantages has made the use of digital technologies widespread in technical education

---

<sup>1</sup> Dr., Malatya Turgut Özal University, Arapgir Vocational School, Construction Machinery and Operator Program, muhammed.uyar@ozal.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9897-6279.

<sup>2</sup> Associate Professor Dr., Malatya Turgut Özal University, Arapgir Vocational School, Department of Electronics and Automation, ahmetb.demirpolat@ozal.edu.tr, ORCID:0000-0003-2533-3381.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Siirt University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Mechanical and Metal Technologies, mahmutuyar@siirt.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4981-393X.

institutions, especially in project courses where two-dimensional drawings and designs are made [1] . Although the use of computer-aided design programs in the design phase is still under discussion, computer-aided design programs are frequently preferred by students in the process of technical drawing and design from design to presentation in project courses. The use of digital technologies has enabled the production of three-dimensional modeling, animations, photorealistic presentations, and has led to the enrichment of presentations, making them interesting and moving away from simplicity and boredom. Three-dimensional thinking, learning and presentation provided by model studies until today have been replaced by three-dimensional modeling and three-dimensional printers with digital technologies that provide new opportunities. Virtual environments created with three-dimensional visual models have become environments that can be moved in with the use of virtual reality simulations in design, where real space-time interactive spatial experience is experienced due to visual, auditory and movement in space [2] . Section and elevation drawings, which are difficult for students, have become practical with the new opportunities provided by computer-aided design programs. In this study, the course data of the students of construction machinery operator, automotive and electrical programs from the technical departments of Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational School of Higher Education were obtained for the 2022-2023 academic year. According to these data; the course compliance of the program students was analyzed and the importance of the course in their professional lives was examined. From the analysis of the data obtained as a result of this study, the compatibility of technical programs with the computer-aided drawing course was similar to each other.

In the research conducted for the use of computer-aided drawing program in their business life after graduation, it was

observed that the intensity of use varies according to the business sector in which the graduates of the program work and that it is not possible to determine the exact rate of use of the programs due to the large number of business lines.

## **2. DRAWING IN BUSINESS LIFE**

Drawing programs are used to create technical drawings in fields such as engineering, architecture, design and manufacturing. Designs of products, buildings or systems are realized through these programs. Drawing program skills enable professionals to create complex designs accurately and efficiently, improving product quality and innovation. It optimizes the design process, reduces errors and allows for quick changes. This saves time and resources in the project development process. Drawing programs allow precise measurements to be made. Dimensions, angles and positions of products or structures can be accurately determined. This minimizes errors during the production and construction phases. Program software enables seamless collaboration between teams, improving real-time feedback, design iterations and project coordination. Program competency increases employability and career growth opportunities by providing diverse career opportunities in fields such as engineering, architecture, manufacturing and construction. Individuals with the program competency have a competitive advantage in the job market. This is because companies look for professionals who can use advanced technologies to drive innovation and efficiency. Research shows that individuals with drawing program competence are more likely to find high-paying jobs. They are also more likely to advance in their careers and contribute significantly to the success of projects through their ability to create accurate designs, collaborate effectively and adapt to

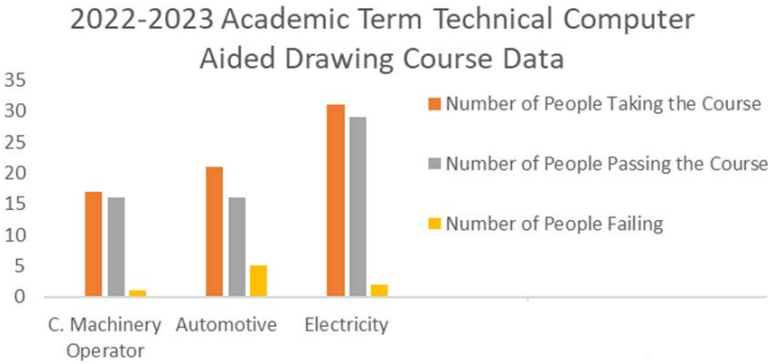
emerging technologies. Drawing programs are critical to increase efficiency in technical fields, to make precise measurements, to provide visualization effectively, to comply with standards and to facilitate teamwork. In occupational groups where drawing programs are used, drawing programs are used to create design ideas, make technical drawings, make pre-production preparations and create technical drawings of projects [3]. If we give examples of technical professions that use drawing programs; Engineering: It is used to create technical drawings in fields such as mechanical engineering, electrical engineering, electronic engineering, civil engineering. Architecture: It is used to create building designs, city plans and landscape designs in fields such as architecture, interior architecture, urban planning, landscape architecture. Design: Used to create and develop design ideas in fields such as graphic design, textile design, furniture design. Construction: Used in the construction industry to create building designs, city plans and technical drawings of construction projects. Furniture: In the furniture industry, it is used to create furniture designs, pre-production technical drawings. Electronics: In the electronics industry, it is used to create technical drawings such as electronic circuit diagrams, current path diagrams. Map Engineering: In the field of mapping engineering, it is used to create map drawings, city plans and geographic information systems. Textile: In the textile industry, it is used to create textile designs, pre-production technical drawings. Installation: In the plumbing industry, it is used to create technical drawings of plumbing projects. Drawing programs provide significant benefits in creating technical drawings, developing designs and managing projects in many professional groups such as engineering, architecture, design, construction, furniture and electronics. It offers its users the opportunity to increase efficiency, reduce errors and facilitate collaboration [4].

### **3. MATERIAL METHOD**

The materials used in drawing lessons help to create technical drawings. The methods used in drawing lessons help to create technical drawings. The purpose and direction for which these methods are used are given in the examples below. Computer-aided drawing programs are used to create computer-aided designs in fields such as engineering, architecture, design and technical programs. For this reason, computer-aided drawing courses are taught to students studying in such programs. The computer-aided drawing course taken in technical departments provides students with important advantages in business life. This course provides students with critical skills such as technical drawing skills, 3D modeling abilities and adaptation to current technology [5]. In addition, it improves students' work efficiency and collaboration skills by developing characteristics such as speed, precision and teamwork. Computer-aided drawing is a technique that has emerged to facilitate the design phase, minimize errors in drawing and save time. It is frequently used by technical staff. For these reasons, students who take computer aided drawing course in technical departments gain an important competitive advantage in business life. The skills provided by the course can be an important step towards success in students' careers [6]. For this reason, a study was conducted to investigate the course adaptability of students taking computer-aided drawing courses in technical departments of vocational colleges. In this study, the course data of the students of construction machinery operator, automotive and electrical programs of the technical departments of Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational School were obtained for the 2022-2023 academic year. According to these data; the course compliance of the program students was analyzed and the importance of the course in their professional lives was examined. From the analysis of the data obtained as a result of this study, the compatibility of

technical programs with the computer-aided drawing course was similar to each other. In the research conducted in order to use the computer-aided drawing program in their business life after graduation, it was observed that the intensity of use varies according to the business sector in which the program graduates work and it is not possible to determine the exact rate of use of the programs due to the large number of business lines. Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational High School technical departments of construction machinery operator, automotive and electrical programs of the students of the 2022-2023 academic year course data were used to analyze the course compliance of the students. Based on the statistical data of the exam results of the students taking the course in these three programs, the necessary analyzes were made and the results were given in the form of graphs. Figure 1 shows the number of students taking the technical computer-aided drawing course in the 2022-2023 academic year and their successful pass rates in this course.

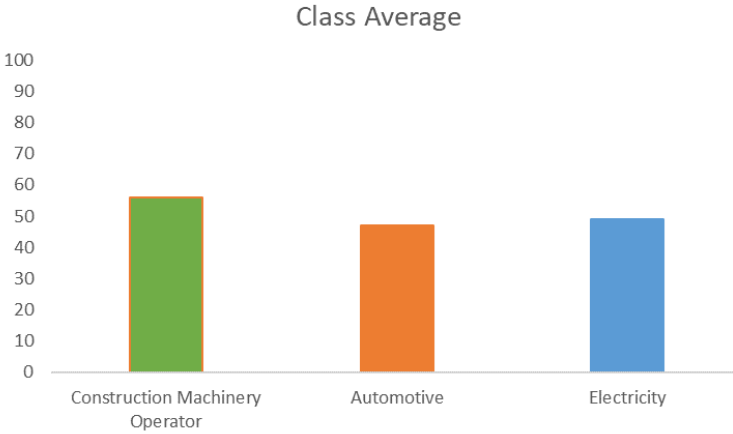
**Fig. 1. 2022-2023 academic year technical computer-aided drawing course success cases (Example of Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational School Technical programs)**



In order to make a comparison between the students of technical programs in terms of course compliance, the class average data of the students of the computer-aided drawing course obtained by us were analyzed and the results were given

in the form of graphs. Figure 2 shows the class average data of the students taking the technical computer-aided drawing course in the 2022-2023 academic year.

**Fig. 2. Class average data of students taking technical computer-aided drawing courses in the 2022-2023 academic year (Example of Technical programs of Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational School)**



#### 4. CONCLUSION

Computer-aided drawing courses have an important place in business life and offer many advantages. However, it should not be forgotten that traditional drawing skills are also important. Therefore, curricula should be both compatible with modern technologies and provide students with basic engineering skills. In conclusion, it is clear that the acquisition of drafting skills in technical fields offers many benefits, ranging from improved design capabilities and productivity to improved collaboration and career opportunities. Adopting drafting competence is not only important to remain competitive in today's job market, but also essential to sustain innovation and success in technical professions [7]. In this context, our study has been prepared with

the aim of addressing the benefits of computer-aided drawing courses in technical fields in a detailed and informative way. The success of the students of Malatya Turgut Özal University Arapgir Vocational School technical programs of construction machinery operator, automotive and electrical programs in computer-aided drawing courses were examined. Sixteen of the 17 students who took the course in the construction machinery operator program passed the course successfully. 1 student failed. Of the 31 students who took the course in the electrical program, 29 passed the course successfully. 2 students failed. 16 of 21 students who took the course in the automotive program passed the course successfully. 5 students failed. In addition, the class average data of the students who took the technical computer-aided drawing course in the 2022-2023 academic year are given. The class average of the students taking the course in the construction machinery operator program was 56.81 out of 100 points. The class average of the students taking the course in the electrical program was 49.10 out of 100 points. The class average of the students taking the course in the automotive program was 47.42 out of 100 points. According to these data; the compatibility of the program students with the course was analyzed and the importance of the course in their professional lives was examined. From the analysis of the data obtained as a result of this study, the compatibility of technical programs with the computer-aided drawing course was similar to each other. In the research conducted for the use of computer-aided drawing program in their business life after graduation, it was observed that the intensity of use varies according to the business sector in which the program graduates work and it is not possible to determine the exact rate of use of the programs due to the diversity and multiplicity of the business line.



## REFERENCES

- [1] Aydoğan, Ü. (2006). Evaluation of Strategic Use of Computer Aided Design Software, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Master's Thesis, Istanbul.
- [2] Özen, A. (2006). Perception psychology in architectural virtual reality environments, Information Technologies Congress IV, Academic Informatics, February 9-11, 2006, Denizli.
- [3] Bingöl, B., Yücedağ, C., & Kaya, L. G. (2020). Landscape Architecture Students' Opinions on Computer Aided Design Programs: The Case of Burdur Mehmet Akif Ersoy University. Journal of Mehmet Akif Ersoy University Institute of Science and Technology, 11(Suppl. 1), 281-289.
- [4] Pullu, E. K., & Gömleksiz, M. N. (2020). Opinions of Vocational School students about the use of computer-aided applications in technical and vocational drawing course. Atatürk University Kazım Karabekir Education Faculty Journal, (41), 357-378.
- [5] Dwivedi, A., & Dwivedi, A. (2013). Role of computer and automation in design and manufacturing for mechanical and textile industries: CAD/CAM. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 3(3), 8.
- [6] Yıldız, N. B., & Sahtiyancı, E. (2019). Evaluation of computer-aided design (CAD) programs in terms of preferences of building drafting program students. Düzce University Journal of Science and Technology, 7(1), 531-540.

- [7] Özdemir, B. (2008). The benefits of the use of Computer Aided Design Methods in terms of Landscape Architecture and an Application Example in KTU. Campus. Karadeniz Technical University Institute of Science and Technology. Institute of Science and Technology, Master's Thesis, 110s, Trabzon.

# MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

**yaz**  
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com