Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi
Erzincan University Journal of Education Faculty
2025 Cilt 27 Sayı 4 (491-509) https://doi.org/10.17556/erziefd.1685837

Araştırma Makalesi / Research Article

Özel Yetenekli Öğrencilerin Biyomimetik Tasarım Entegrasyonuna Dayanan Mühendislik Tasarım Defterlerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Engineering Design Notebooks of Gifted Students Based on Biomimetic Design Integration

Yunus Emre İleri[1] **Mahmut Selvi**[2]

[1] Öğretmen, MEB, Ankara, Türkiye
[2] Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye

Makale Bilgileri

Geliş Tarihi (Received Date)

28.04.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date)

30.09.2025

Sorumlu Yazar

Yunus Emre İleri

Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi

yemre.ileri@gazi.edu.tr

Öz: Mühendislik Tasarım Süreci (MTS), öğrencilerin fen eğitiminde gelişim sürecinde önemli bir yere sahiptir. Araştırmada MTS, biyomimikri teması kapsamında gerçekleştirilmiştir. Fen eğitiminde MTS'de öğrencilerin eğitim çalışmalarının değerlendirilmesi, büyük bir öneme sahiptir. Mühendislik Tasarım Defterleri (MTD), öğrencilerin öğrenme biçimlerini, aktif ve deneyimsel öğrenme ilkelerini somutlaştırarak ortaya koyan bir araçtır. MTD'nin eğitim sürecindeki bu önemli ve olumlu yanları nedeniyle özel yetenekli öğrencilerin süreç içerisindeki gelişimlerinin izlenmesi ve bunların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu araştırmanın amacı, özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defterlerinin değerlendirilmesidir. Araştırma Ankara ilindeki bir bilim ve sanat merkezinde gerçekleştirilmiş olup 15 özel yetenekli öğrencinin katılımı ile sürdürülmüştür. Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan gömülü durum çalışması deseni ile yürütülmüştür. MTD'lerin değerlendirilmesinde "Biyomimetik Tasarım Entegrasyonuna Dayanan Mühendislik Tasarım Defteri Rubriği" kullanılmıştır. Rubrik, araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Araştırmada elde edilen veriler doğrultusunda MTD özelinde özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım yaklaşımında zorlandıkları görülmüştür. Ayrıca özel yetenekli öğrencilerin planlama-1, planlama-2 ve test etme kriterlerinde diğer kriterlere nazaran daha düşük performans gösterdikleri sonucuna ulaşılmaktadır. Araştırmanın sınırlılıkları ise tek bir BİLSEM'de yürütülmesi, sürecin uzun olması nedeniyle öğrencilerde yorgunluk etkisinin oluşmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Biyomimikri, Biyomimetik Tasarım, Özel Yetenekli Öğrenciler, Mühendislik Tasarım Süreci, Mühendislik Tasarım Defteri

Abstract: The Engineering Design Process (EDP) plays a significant role in the development of students' science education. In this study, the EDP was implemented within the theme of biomimicry. Evaluating students' educational work in the EDP is of great importance in science education. Engineering Design Notebooks (EDNs) are a tool that concretely reveals students' learning styles and active and experiential learning principles. Due to these important and positive aspects of EDNs in the educational process, it is necessary to monitor and evaluate the development of gifted students within the process. The purpose of this study is to evaluate the engineering design notebooks of gifted students based on biomimetic design integration. The study was conducted at a science and art center in Ankara with the participation of 15 gifted students. The study was conducted using the embedded case study design, one of the qualitative research methods. The "Engineering Design Notebook Rubric Based on Biomimetic Design Integration" was used to evaluate the EDNs. The rubric was developed by the researchers. The data obtained in the study revealed that gifted students struggled with the biomimetic design approach, particularly in MTDs. Furthermore, it was concluded that gifted students performed lower in the planning-1, planning-2, and testing criteria compared to other criteria. The limitations of the study include its execution in a single BİLSEM and the fatigue effect on students due to the lengthy process.

Keywords: Biomimicry, Biomimetic Design, Specially Gifted Students, Engineering Design Process, Engineering Design Notebook

İleri, Y. E. ve Selvi, M. (2025). Özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defterlerinin değerlendirilmesi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 27(4), 491-509. https://doi.org/10.17556/erziefd.1685837

Giriş

Mühendislik tasarım süreci, öğrencilerin fen eğitiminde gelişim sürecinde önemli bir yere sahiptir. Ortaya konan bazı araştırmalar, özellikle 21. yüzyıl becerilerinin geliştirilmesinde mühendislik tasarım sürecinin kritik rolünü vurgulamaktadır (Halawa vd., 2024; Long vd., 2020; Nesmith & Cooper, 2021). Mühendislik tasarım süreci, öğrencilerin problem çözme, eleştirel ve yaratıcı düşünme ile iletişim becerilerini geliştirir (Han & Shim, 2019; Winarno vd., 2020). Mühendislik tasarım süreci, Winarno ve arkadaşlarına (2020) göre öğrencilerin akademik başarılarının yanında bilimsel akıl yürütme becerilerine ve tasarım düşüncesi ile ilgili süreç boyunca öğrenmelerine de katkıda bulunmaktadır. Han & Shim (2019), özel yetenekli öğrenciler için geliştirilmiş mühendislik tasarım sürecine dayalı bir öğretim modeli sunmuş ve bu modelin öğrencilerin günlük yaşam problemlerini çözme konusunda nasıl yardımcı olduğunu göstermişlerdir.

Mühendislik tasarım sürecinde kullanılan öğretim programları da önemli bir yere sahiptir. Öğretim programlarının, özel yetenekli öğrencilerin ve çağın ihtiyaçlarına göre esnetilmesi gerekmektedir (Kaya vd., 2022). Brink ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan araştırmada öğretim programlarının öğrencilerin potansiyellerini en üst düzeye çıkarmayı sağlayacak şekilde esnetilmesinin zorunluluğunu vurgulanmaktadır. Ayrıca bu esnetme çalışmaları, özel yetenekli öğrencilerin bilişsel potansiyellerini ve öğrenme ihtiyaçlarını da dikkate almak zorundadır (Kalıncı Karagöz ve Ulutaş, 2024; Sevgen Abaci ve Tüzün, 2023). Günümüzün karmaşık dünya problemleri ve hızlı teknolojik gelişmeler, eğitim alanında yenilikçi eğitim yaklaşımlarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, eğitim politikalarının öğrenci ve çağın ihtiyaçlarına göre revize edilmesini gerektirmektedir. Yirmi birinci yüzyılda bilim ve teknolojideki gelişmeler ışığında eğitimde yeniliğin yanında özel yetenekli öğrencilerin performanslarına ve üst düzey düşünme becerilerine odaklanılması gerekmektedir (Benek &

Tiryaki, 2025; Bolat & Malkoç, 2021; Ökcü & Emir, 2024; Tekerkaya & Kurnaz, 2024).

Mühendislik tasarım süreci, yinelemeli ve döngüsel bir süreçtir. Mühendislik tasarım sürecinin bu özelliği, öğrencileri hipotez kurmaya ve kurdukları hipotezlerini test etmeye, tasarım çözümlerini prototipler halinde ortaya koymaya, bu prototiplerini test etmeye ve eksiklerinden dersler çıkararak tasarımlarını iyileştirmeye zorlamaktadır. Bu durum da öğrencilerin gerçek dünya problemlerini mühendislik tasarımlarına yansıtarak fen bilimlerinde sorgulamaya dayalı öğrenme sürecine katılmalarını sağlamaktadır (Dat vd., 2024; Vieira vd., 2018). Bu nedenle de bilimsel süreç becerilerinin gelişimine ve bilimsel akıl yürütmelerine de katkıda bulunmaktadır (Kim vd., 2019; Kutlu vd., 2022; Winarno vd., 2020). Bu durumların yanında mühendislik tasarım sürecinin önemli bir diğer yönü ise bilimsel araştırma sürecini problem çözme bağlamına yerleştirebilmek için bir öğretim çerçevesi ortaya koymaktadır (Özkan & Sarıkaya, 2023). Böylece disiplinler arasındaki bağlantılar kolaylaşmaktadır.

Özel yetenekli öğrenciler, tipik öğrenci dağılımına göre farklı özellik sergileyen bireylerdir. Renzulli (2012) tarafından geliştirilen Üç Halka Modeli, özel yetenekli öğrencilerin yüksek genel yetenek, yaratıcılık ve göreve bağlılık özelliklerini bir arada sergileyen bireyler olduğunu vurgulamaktadır. Bu karakteristikler, mühendislik tasarım sürecinin karmaşık ve çok boyutlu doğasıyla örtüşmekte ve özel yetenekli öğrencilerin bu alanda farklılaştırılmış eğitim yaklaşımlarına ihtiyaç duyduklarını işaret etmektedir.

Mühendislik tasarım süreci ve biyomimetik tasarım yaklaşımı, özel yetenekli öğrencilerin eğitiminde kullanılan yenilikçi eğitim yaklaşımlarıdır. Bu iki tasarım yaklaşımı, öğrencilerin doğanın tasarım ilkelerinden ilham alarak ortaya koydukları yenilikçi mühendislik çözümlerini ifade etmektedir. Bu durumun yanında etkili bir öğrenme çerçevesi de sunmaktadır (Özünlü & Çepni, 2023; Yalçınkaya, 2023). Mühendislik tasarım sürecine entegre edilen biyomimetik tasarım yaklaşımı, özel yetenekli öğrencilerin öğrenme motivasyonlarını artırmaktadır (Yalçınkaya, 2023). Biyomimikri, doğanın milyonlarca yılda oluşturduğu birikim baz alınarak çeşitli problemlere yönelik doğanın bilgeliğinde çözüm yolları aramaya dayanan, doğadan ilham alan, doğaya zarar vermeyen, onun çalışma prensipleri ile çalışan, çevreci yaklaşıma sahip olan bir inovasyonel mühendislik ve tasarım yaklaşımıdır. Hali hazırda doğada yaşayan canlılar, doğanın binlerce yıldır oluşan birikimlerini kullanarak doğaya uyum sağlamaktadırlar. Biyomimikri tasarımcıları (biyomimikler), canlıların doğal koşullara karşı geliştirdikleri adaptasyon stratejilerini anlayarak, öğrenerek ve taklit ederek sürdürülebilir tasarımlar ve teknolojiler geliştirmeyi amaçlamaktadırlar. Janine M. Benyus ise biyomimikri kavramını *"yaşamın dehasının bilinçli öykünmesi"* olarak tanımlamaktadır (Biomimicry Insitute, 2015).

Biyomimikri yaklaşımı çerçevesinden bakıldığında bu yaklaşım ile bağlantılı olan başka bir kavram da biyomimetik tasarım kavramıdır. Biyomimetik tasarım, biyolojik sistemlerin ayrıntılı olarak incelenmesi, sistemlerin işlevlerinin analizi, baz alınan modellerin o canlıdan soyutlanması, soyutlanan özelliğin ihtiyaç duyulan sorunun çözümüne aktarılması ve uygulanması ile pratik olarak çözülebilecek sorunları ortadan kaldırmak amacıyla biyoloji, teknoloji veya diğer yenilikçi alanların disiplinlerarası işbirliği yapmaları şeklinde tanımlanabilir (Hayes et al., 2020).

Biyomimetik tasarımın entegre edildiği mühendislik tasarım süreci olarak belirtilen bu yeni öğretim yaklaşımı ile disiplinlerin gerçek dünya problemlerinin çözümüne yönelik öğrencilerde yepyeni bir eğitim deneyimi oluşturulmasına imkân sağlamaktadır. Bu entegrasyon, özel yetenekli öğrencilerin teorik kavramları uygulamalı öğrenmelerini, doğaya yönelik farkındalıklarını, karar verme ve eleştirel düşünme becerilerini geliştirmektedir (Kelley & Knowles, 2016; Norah Saleh M. Almuqbil, 2021; Oğurlu & Uç, 2024; Ting, 2016).

Özel Yetenekli Öğrenciler ve Mühendislik Tasarım Eğitimi

Son dönem araştırmalar, özel yetenekli öğrencilerin STEM eğitiminde mühendislik tasarım süreçlerinden önemli ölçüde faydalandıklarını göstermektedir (Cho vd., 2019; Coşkun & Özkaya, 2020; Okulu vd., 2022; Okulu & Oğuz Ünver, 2021). Bu öğrenciler, kavramsal anlama ve yaratıcı problem çözme konularında güçlü performans sergilerken, uygulama sürecinde ise ek desteğe ihtiyaç duyabilmektedirler (Reis & Renzulli, 2009). Bu durum, özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım süreçlerindeki performanslarının sistematik olarak değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Fen eğitiminde mühendislik tasarım sürecinde özel yetenekli öğrencilerin eğitim çalışmalarının değerlendirilmesi, öğretmenlerin öğrencilerini daha iyi tanımalarına, onları daha doğru yönlendirmelerine imkân verirken politika yapıcılara ülke genelinde özel yetenekli öğrencilerin öğrenme çıktılarının geliştirilmesinde ve bu bireylerin bilimsel kariyerlerinde başarıları için gerekli olan yeterliliklerin geliştirilmesi hakkında bilgi sunmaktadır. (Mann vd., 2011). Mühendislik tasarım sürecinin özel yetenekli öğrencilerin STEM alanlarındaki yeterliklerini (Bright & Calvert, 2023; Mann vd., 2011) ve sosyal gelişimlerini (Laine vd., 2019) artırdığına dair bulgular da bulunmaktadır. Dolayısıyla öğretmenlerin mühendislik tasarım sürecini öğretim programına etkin bir şekilde entegre edebilmesi, özel yetenekli öğrencilerin öğrenme çıktılarının geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Kettler, 2016). Bu yeterliliklerin geliştirilebilmesi için geçerli ve güvenilir ölçme ve değerlendirme araçları kritik bir öneme sahiptir. Bu ölçme araçları, özel yetenekli öğrencilerin performanslarını süreç içerisinde değerlendirilmesine destek olurken aynı zamanda öğretmenlerin öğrencilerini daha iyi yönlendirme yapmasına da imkan vermektedir (Nağaç & Kalayci, 2021). Diğer bir ifadeyle ölçme araçları, eğitimin gelişmesini sağlamaktadır. Mühendislik tasarım sürecinde özel yetenekli öğrencilerin performanslarının öğretmenlerin gözlemlerine dayanan bir değerlendirme yapılmasını gerektirmektedir. Bu durum da öğretmenler için zorlayıcı bir hale gelmektedir (Yeung, 2024).

Mühendislik tasarım sürecinde özel yetenekli öğrenciler, tasarım çözümleri geliştirebilmek için tasarım problemine yönelik birden fazla kriteri ve kısıtlamayı dikkate almak zorundadırlar (Asal Özkan & Sarikaya, 2023; Kahraman & Doğan, 2020). Bu nedenle öğrencilerin, uygun kriterleri ve kısıtlamaları doğru bir şekilde belirleyebilmeleri için tasarım problemi hakkında bilgileri toplaması ve bu bilgileri doğru bir şekilde kaydetmesi gerekmektedir (Asal Özkan & Sarikaya, 2023). Bu bakımdan mühendislik tasarım defteri, bu bilgilerin saklanması için en doğru araçtır. Sürecin kaydedilmesi ve değerlendirilmesi öğrenciler kadar öğretmenler açısından da öğrencilerinin öğrenme sürecini belirlemek ve değerlendirmek açısından kritik bir öneme sahiptir (Coşkun & Özkaya, 2020; Kelley, 2011; Şahbaz vd., 2024).

Mühendislik Tasarım Defterlerinin Değerlendirme Potansiyeli

Özel yetenekli öğrencilerin performansları, özellikle biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım sürecinde çok önemli bir yere sahiptir. Olağanüstü yetenekleri, yaratıcılık ve üst düzey zihinsel becerilere sahip olan özel yetenekli öğrenciler, biyomimetik tasarım yaklaşımlarıyla buluşarak var olan potansiyellerini daha üst düzeye çıkarabilirler. Dolayısıyla farklı tasarım yaklaşımlarının bir arada kullanılması hem tasarım problemlerinin çözümüne katkı sunar hem biyomimetik tasarım stratejilerinin mühendislik tasarımına katkı sunar hem de öğrencilerin öğrenme deneyimlerini zenginleştirir. Özel yetenekli öğrencilerin soyut düşünme becerileri, biyomimetik tasarım sürecinde kilit role sahiptir. Bu konuda yapılan bir araştırmada doğadan ilham alan tasarımların mühendislik tasarım problemlerine entegre edilmesinin öğrencilerin soyutlama ve sentezleme becerilerine yönelik çerçeveler ortaya koyduğunu göstermektedir (Hays vd., 2024). Özel yetenekli öğrencilerin yenilikçi kapasiteleri, canlılara ilişkin işlevleri belirlemelerini ve modellemelerini sağlayarak sonraki tasarım çözümleri için kritik bir temel oluşturur. Ayrıca, biyolojik stratejilerin mühendislik tasarım problemlerine dönüştürme becerisi, gelişmiş çevresel adaptasyon ve verimlilik gösteren biyomimetik tasarımlarda görüldüğü gibi ürün işlevlerinin iyileştirilmesine imkan tanımaktadır (Badarnah, 2017). Biyomimetik tasarım yaklaşımı da mühendislik tasarım süreci gibi disiplinler arası bir yapıya sahiptir. Bu yüzden farklı disiplinlerde çalışan bireylerin takımlar halinde faaliyet göstermesine dayalı bir tasarım yaklaşımıdır. Özel yetenekli öğrenciler de farklı düşünme becerilerini kullanarak iş birliği halinde çalışarak başarılı olmaktadırlar. Bu nedenle bu öğrencilerin performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım sürecinde performanslarının belirlenmesinde mühendislik tasarım defterlerinin incelenmesi eğitim süreçlerinin değerlendirilmesi bakımından önemli bir yere sahiptir.

Mühendislik tasarım defterleri, öğrencilerin öğrenme biçimlerini ve aktif ve deneyimsel öğrenme ilkelerini somutlaştırarak ortaya koyan bir araçtır. Douglas ve arkadaşları (2018) tarafından ifade edildiği gibi mühendislik tasarım defterleri, öğrencilerin çerçevesi belirlenmiş konular hakkında notlar almalarına, düşüncelerini ve tasarım süreçlerini ortaya koymalarına ve kendi öğrenme süreçleri hakkında düşünmelerine imkân vermektedir Bu defterler, mühendislik tasarım sürecinin yinelemeli doğasını destekleyerek öğrencilerin kendi gelişimlerini izlemelerine, bu süreç içerisinde kendi öğrenmeleri hakkında değişiklikler yapmalarına ve belgelenmiş deliller yoluyla öğrenmelerine ilişkin sonuçları ortaya koymalarına olanak sağlar.

Mühendislik tasarım defterlerinde, öğrencilere ait tüm tasarım düşünceleri, alternatif tasarım çözümleri, takım arkadaşları ve diğer takımlarla ilgili yapılan tartışmalar, takım üyeleriyle verilen kararlar, tasarım sürecinde karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukların üstesinden gelme yolları, tasarım çözümünde gerçekleştirilen değişiklikler, tasarım çözümüne yönelik yapılan deneyler ve bu deneylere ilişkin sonuçlar yer almalıdır (Kelley, 2011).

Bazı araştırmalar, mühendislik tasarım defterlerinin eğitim ortamlarında kullanılmasıyla öğrencilerin metabilişsel farkındalıklarının önemli ölçüde arttığını ve öğrenme süreçlerinin geliştiğini ortaya koymaktadır (Abdelrahman, 2020; Barak, 2010; Brophy vd., 2008). Öğretmenler açısından mühendislik tasarım defterlerinde performansları değerlendirmek, süreç içerisinde değerlendirme niteliği sağlamasının yanında özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım sürecine ve bu süreç içerisindeki öğrenme deneyimleri hakkında dönüt vermesi nedeniyle de biçimlendirici değerlendirme uygulamalarına da imkân sağlamaktadır (Long vd., 2020; Peterson vd., 2020). Bu öğrencilerin süreç içerisindeki performanslarının değerlendirilmesi onların süreçteki başarılarını görmeyi kolaylaştırabilir.

Rubrik Tabanlı Değerlendirmenin Önemi

Mühendislik tasarım defterleri, özel yetenekli öğrencilerin tasarım problemlerini tanımlamalarından tasarımlarına karar vermelerine kadar mühendislik tasarım sürecinin tüm aşamalarına yönelik kayıtları barındırması nedeniyle öğrencilerin süreçteki performanslarının değerlendirmesine imkân vermektedir. Böylece özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım sürecindeki gelişimlerinin izlenmesi ve gelişim düzeylerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, dereceli puanlama anahtarı (rubrikler) kullanılmaktadır.

Rubrik, bir performansın niteliğine ilişkin düzey tanımlamalarını içeren tutarlı bir ölçütler dizisidir. Rubrikler, genel anlamda performansları tanımlayıcı olsalar da değerlendirme amacıyla da kullanılabilen ölçme araçlarındandır (Brookhart, 2023). Dolayısıyla dereceli puanlama anahtarları, öğrencilerin performanslarını çeşitli boyutlarda değerlendirebilmek için gerekli olan ölçütleri açıklayan yapılandırılmış bir çerçeve sağlamaktadır.

Rubrik yoluyla performans değerlendirmesinin özel yetenekli öğrenciler için önemli avantajları bulunmaktadır. Tomlinson (2017) tarafından vurgulandığı üzere, özel yetenekli öğrenciler heterojen bir grup olup, bireysel öğrenme profillerine göre farklılaştırılmış değerlendirme yaklaşımlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Rubrikler, bu farklılaştırılmış değerlendirmenin sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Kavramsal Çerçeve

Alanyazın incelendiğinde mühendislik tasarım defteri rubriklerinin genel olarak mühendislik öğrencilerinin çalışmalarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılsa da (Abdulaal vd., 2011; Hong vd., 1996; Svarovsky & Shaffer, 2006; Yeh vd., 2011) bazı çalışmalarda farklı yaş grupları için fen eğitiminde biçimlendirici değerlendirme (Aschbacher & Alonzo, 2006; Bıyık & Şenel, 2019; Koch & Burghardt, 2002; Ruiz-Primo vd., 2004) amaçlı olarak da kullanılmıştır.

Bazı araştırmalar, mühendislik tasarım eğitiminde rubrik tabanlı değerlendirmelerin öğrenci performanslarının objektif ve sistematik bir şekilde belirlenmesinde etkili olduğunu göstermektedir (Fraser-Seeto vd., 2015; Stevens & Levi, 2013). Rubrikler, öğrenme amaçlarının net bir şekilde tanımlanmasını, değerlendirilen özelliklere ilişkin kriterlerin belirlenmesini ve öğrencilere dönüt vermeyi kolaylaştırmaktadır. Rubriklerden elde edilen sonuçlar, öğretmenler için değerlendirme sürecini daha belirgin hale getirmektedir veya diğer bir ifadeyle standart hale getirmektedir(Kaya & Ataman, 2017). Ancak, bu çalışmaların çoğunluğu tipik gelişim gösteren öğrenciler üzerinde yürütülmüş olup, özel yetenekli öğrencilerin özgün karakteristiklerini dikkate alan sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır (Fifield, 2022; Worrell vd., 2019). Bu durum,

özel yetenekli öğrenciler için geliştirilmiş rubriklerin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu rubriklerin özel yetenekli öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarını ne düzeyde karşıladığını gösteren araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Alanyazın incelendiğinde özel yetenekli öğrencilerde biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defterlerinin değerlendirilmesine yer verilmemesi bir araştırma boşluğu oluşturmaktadır. Biyomimetik tasarım yaklaşımı, canlıların yapılarından ve işlevlerinden esinlenerek yenilikçi mühendislik tasarım çözümleri ortaya koymayı hedeflemektedir. Ancak, bu alandaki mevcut çalışmaların çoğu, genel biyomimetik uygulamalarına yönelmiş ve ürün tabanlıdır. Özel yetenekli öğrencilerin performans potansiyelinden yararlanma konusunu göz ardı etmiştir (Fayemi vd., 2017; Forniés & Muro, 2012).

Biyomimetik tasarım, mühendislikte ve teknolojide doğadan esinlenen çözümleri ortaya koyması bakımından önemli bir role sahiptir. Dolayısıyla, özel yetenekli öğrenciler, yaratıcı düşünme becerileri ile bu süreçte başarılı performansları ile katkı sağlayabilmektedirler. Çalışmalar, biyomimetik tasarımın, öğrencilerin tasarım problemlerine yaratıcı fikirler üretme ve problem çözme becerilerini artırmalarında etkili olduğunu göstermektedir (Gebeshuber, 2024; Sá & Viana, 2023). Bunun yanında, biyomimetik tasarım sürecinin sistematik bir şekilde derslerde işlenmesi, bu süreçte yer alan özel yetenekli öğrencilerin performanslarıyla da ilişkilendirilmektedir. Biyomimetik tasarımların entegre edildiği öğretim programlarının uygulanması, özel yetenekli öğrencilerin kavramsal anlayışlarını ve tasarım yeteneklerini geliştirmesi açısından avantajlarının olacağı düşünülmektedir (Ziadat & Sakarneh, 2021).

Özel yetenekli öğrenciler, biyomimetik tasarım entegrasyonu yoluyla üst düzey performans potansiyellerini geliştirebilirler. Biyomimetik tasarım, doğanın işlevselliğini ve estetiğini bir arada sunarak yeni mühendislik tasarım çözümleri oluşturma fırsatları sunmaktadır (Wijegunawardana & De Mel, 2021). Yenilikçi tasarım yaklaşımlarının eğitimde kullanılması, öğrencilerin üst düzey düşünme becerilerini geliştirmektedir. Bu durum aynı zamanda mühendislik tasarım defterleri üzerinden gerçekleştirilen araştırmalarda yer alan yaratıcı süreç değerlendirmesine yönelik yeni bir araştırma alanı sunmaktadır (Uchiyama vd., 2020)

Araştırmanın Amacı ve Katkıları

Bu araştırmanın temel amacı, özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defterlerindeki performanslarını sistematik olarak değerlendirmektir. Bu doğrultuda özel yetenekli öğrencilerin tasarım süreçlerindeki performansları üzerine yapılan çalışma bulunmamaktadır. Biyomimetik tasarım süreci doğadan ilham alan yenilikçi çözümler öne süren bir tasarım yaklaşımıdır. Bu nedenle biyomimetik tasarım yaklaşımının özel yetenekli öğrencilerin üst düzey düşünme becerilerini geliştirmelerine katkıda bulunmaktadır (Jacobs vd., 2022). Bu yaklaşımın öğretim sürecinde yer alması gerekmektedir.

Bu amaç doğrultusunda, özel yetenekli öğrencilerin performans örüntülerini ortaya çıkaracak, güçlü ve zayıf yönlerini belirleyecek ve eğitimsel çıkarımlar sunacak bir rubrik tabanlı değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Rubrikler, öğrenci performanslarını nesnel bir şekilde değerlendirmek için kullanılan sistematik ölçme araçlarıdır. Ayrıca bu ölçme araçlarıyla öğrencilerin öğretim sürecinde dönüt almalarını ve öğrenme çıktısı oluşturmalarını sağlamaktadır (Bruck vd., 2007; Terrier vd., 2019). Dolayısıyla özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım defterlerindeki düşüncelerini ve tasarım fikirlerinin nesnel bir şekilde değerlendirilebilmesine imkân sağlamaktadır.

Bu araştırmada, "Özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım sürecindeki mühendislik tasarım defterlerindeki performansları nasıldır?" araştırma problemine cevap aranmaktadır. Bu doğrultuda araştırmanın alt problemleri:

"Özel Yetenekli Öğrencilerin Biyomimetik Tasarım Entegrasyonuna Dayanan a) Hazırlık, b) Öğrenme, c) Planlama, d) Test Etme, e) Karar Verme aşamalarındaki mühendislik tasarım defterlerindeki performansları nasıldır?"

Yöntem

Araştırma Modeli

Bu araştırmada, özel yetenekli öğrencilerin bir ana duruma ve bu duruma bağlı alt birimlerin incelenmesini içeren gömülü durum çalışması deseni benimsenmiş olup araştırma keşfedici bir yaklaşımla yürütülmüştür. Gömülü durum çalışması, tek bir durum içerisinde birden fazla analiz biriminin incelendiği araştırma desenidir (Yin, 2018). Bu araştırmada ana durum, biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım sürecini; bu duruma bağlı alt durumlar ise mühendislik tasarım defterlerini ifade etmektedir. Bu araştırmada analiz birimleri bireysel öğrenci performans profilleri, kriter bazındaki performans örüntüleri ve 21 haftalık süreç boyunca gerçekleşen gelişimsel değişimlerdir.

Keşfedici durum çalışması türü, araştırma sorularının açıkça tanımlanmadığı ve formüle edilmediği görece yeni bir bilimsel araştırma alanını araştıran genel nedensel veya açıklayıcı bir araştırma tasarımının ön adımı olarak kullanılmaktadır (Mazgutova & McCray, 2023; Mills vd., 2010). Keşfedici durum çalışması, gelecekte test edilebilecek hipotezlerin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır (Baumgartner vd., 2000). Ayrıca, keşfedici durum çalışması, disiplinler arası uygulamalarda da kullanılarak, farklı disiplinlerde yer alan araştırmacıların birbirlerinden fikir edinmelerini sağlar (Cotán vd., 2021). Bu araştırmada özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defteri performansları belirtilen sebepler nedeniyle keşfedici durum çalışması deseniyle yürütülmüştür.

Özel yetenekli öğrencilerle gerçekleştirilen araştırmalarda, bu grubun doğası gereği sınırlı erişilebilirlik ve homojen özellikleri nedeniyle küçük örneklem büyüklükleri kabul edilebilir ve yaygın bir uygulamadır (Subotnik vd., 2011). Nitekim özel yetenekli öğrenci araştırmalarında 12-20 katılımcılı örneklemler ile derinlemesine analizler gerçekleştiren çalışmalar alanyazında sıklıkla yer almaktadır (Cross & Cross, 2015).

Çalışma Grubu

Araştırma, 2023-2024 eğitim öğretim yılında Ankara İl Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı bir bilim ve sanat merkezinde (BİLSEM) öğrenim görmekte olan özel yetenekli öğrencilerin yer aldığı STEM atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Atölye, bu kurumda genel yetenek alanında tanılanmış özel yetenekli bireylerden oluşmaktadır. Araştırmanın katılımcı sayısı (n=15) özel yetenekli öğrencilerle gerçekleştirilen keşfedici araştırmalar için uygun büyüklüktedir (Creswell. & Poth, 2018).

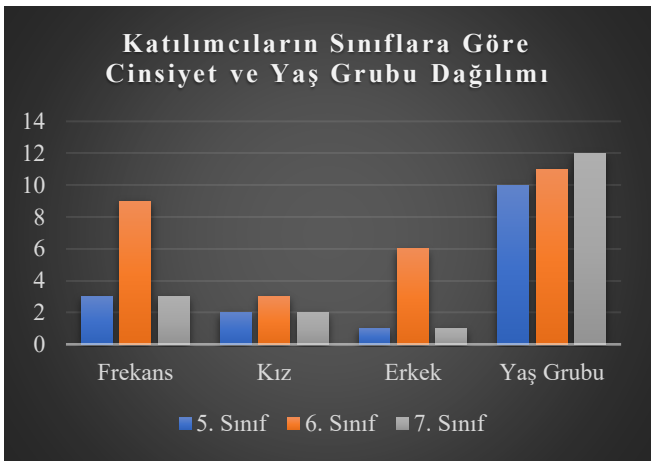
Etkinlikler 21 haftalık bir zaman diliminde, her hafta 4'er ders saati olmak üzere toplamda 84 ders saati süresince

yürütülmüştür. Öğrencilerin okullarındaki öğrenim seviyeleri 5, 6 ve 7. sınıf düzeyindedir. Uzun süreli ve yoğun etkileşim (öğrenci başına 84 saat), küçük örneklem büyüklüğünü telafi eden veri zenginliği sağlamıştır (Stake, 2005).

Araştırmada örneklem seçiminde amaçlı örnekleme yöntemlerinden benzeşik örnekleme kullanılmıştır. Benzeşik örnekleme yöntemi, belirli bir grubun derinlemesine tanımlanmasına imkân veren örnekleme türüdür ve araştırmada yer alacak bireylerin tamamı benzer özelliklere sahip bireylerden seçilir (Patton, 2015). Bu araştırmada tüm katılımcılar:

- Genel yetenek alanında tanılanmış özel yetenekli bireyler
- Aynı STEM atölyesinde öğrenim gören
- Biyomimetik tasarım konusunda önceden deneyimi olmayan öğrencilerdir.

Çalışma grubunun demografik özelliklerine ilişkin bilgiler Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Katılımcıların sınıflarına göre cinsiyet ve yaş dağılımı

Veri Toplama Aracı

Özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım sürecinde kullandıkları mühendislik tasarım defterlerini değerlendirmek amacıyla araştırmacı tarafından "Biyomimetik Tasarım Entegrasyonuna Dayanan Mühendislik Tasarım Defteri Değerlendirme Rubriği" geliştirilmiştir.

Rubrik Geliştirme Süreci

Özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defterlerini değerlendirmek amacıyla "Biyomimetik Tasarım Entegrasyonuna Dayanan Mühendislik Tasarım Defteri Değerlendirme Rubriği" geliştirilmiştir.

Rubriğin boyutları Moore ve arkadaşları (2013) tarafından yapılandırılan mühendislik tasarım süreci aşamaları temel alınarak biyomimetik tasarıma uygun şekilde uyarlanmıştır. Rubrik geliştirme sürecinde Stevens & Levi (2013) tarafından önerilen sistematik yaklaşım izlenmiştir:

1. **Performans Tanımlama:** Biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım süreci aşamalarında gerçekleştirilen etkinliklerin değerlendirilmesi
2. **Kriter Belirleme:** Mühendislik tasarım süreci aşamalarına göre 13 ayrı kriter geliştirilmesi
3. **Performans Düzeyi Tanımlama:** Altı dereceli puanlama ölçeği (0-5 puan) oluşturulması
4. **Uzman Görüşü:** Altı (biyoloji, fen bilimleri ve ölçme) alan uzmanından geçerlik görüşü alınması
5. **Pilot Uygulama:** Puanlayıcılar arası güvenirlik testinin yapılması

Rubrik Yapısı

Geliştirilen rubrik 13 kriter ve altı dereceli puanlama sistemi (0-5 puan) içermektedir. Kriterler mühendislik tasarım süreci aşamalarına göre gruplandırılarak Şekil 2'de verilmiştir.

Her kriter için 0 (hiç doldurulmamış/tamamen yanlış) ile 5 (beklenen düzeyin çok üzerinde) arasında puanlama yapılmıştır.

Veri Toplama Süreci

Veri toplama süreci 21 hafta boyunca öğrencilerin mühendislik tasarım defterlerine yaptıkları kayıtların sistematik olarak toplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her öğrenci için:

- Haftalık defter performans takibi
- Kriter bazında sürekli değerlendirme
- Süreç sonunda kapsamlı rubrik değerlendirmesi yapılmıştır

Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Etik Kurul Komisyonu'ndan 17.10.2023 tarih ve E-77082166-302.08.01-780220 sayılı 17 nolu toplantı kararı doğrultusunda etik kurul izni alınmıştır. Ayrıca uygulamanın gerçekleştirilmesi için Ankara İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nden gerekli izin süreci tamamlanmıştır. Bu durumun ardından kurum izni de alınmıştır. Bu izin alma sürecinin tamamlanmasının ardından katılımcıların yaşlarının 18 yaşından küçük olması nedeniyle velilerinden de katılımcı onay belgesini doldurarak izinleri alınmıştır.



Şekil 2. Biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defteri rubriği kriterleri

Verilerin Analizi

Analiz Stratejisi

Araştırmada çoklu analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Veri analizi üç düzeyde gerçekleştirilmiştir:

1. Kriter Düzeyinde Analiz: Her rubrik kriteri için betimsel istatistik kullanılmıştır.
2. Bireysel Düzeyde Analiz: Öğrenci performans profilleri belirlenmiştir.
3. Örüntü Düzeyinde Analiz: Kriterler arası ilişkileri ve performans grupları tanımlanmıştır.

Betimsel Analiz

Doküman analizi tekniği ile elde edilen sayısal veriler betimsel istatistiğe tabi tutulmuştur. Her kriter için ortalama, standart sapma, frekans ve yüzde dağılımları hesaplanmıştır (Büyüköztürk vd., 2020). Analizler SPSS 27.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Güvenirlik Analizleri

Araştırmada rubriğin güvenirliği iki aşamada test edilmiştir: Değerlendiriciler arası güvenirlik ve puanlayıcılar arası güvenirlik.

Değerlendiriciler Arası Güvenirliğe İlişkin Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında mühendislik tasarım defterleri, 13 ayrı kriterden oluşan biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defteri rubriğine göre uzmanların görüşleri alınmıştır. İlk uzman grubu araştırma alanında çalışmaları olan fen bilgisi eğitiminde öğretim görevlisi olarak görev alan bir doktor öğretim üyesi, bir doktor ünvanlı fen bilimleri öğretmeni, biyoloji eğitiminde öğretim görevlisi olarak görev alan bir doktor öğretim üyesi, ölçme ve değerlendirme alanında öğretim görevlisi olarak görev alan bir doçent ve iki doktor öğretim üyesi olmak üzere altı alan uzmanıdır.

Öncelikle görüşleri alınan uzmanlardan geçerlik konusunda e-posta yoluyla görüşler alınmıştır. Bu görüşlerde rubriğe ait maddelerin anlaşılırlığını arttırmaya ve puanlama sistemine yönelik görüşler yer almıştır. Alan uzmanlarından alınan görüşler doğrultusunda rubrik yeniden gözden geçirilerek gerekli düzenlemeler yapılıp aynı uzman grubundan yeniden görüş alınmıştır. Rubriğin nihai haline karar verildikten sonra başka uzman grubuna ise rubrik maddelerinin uygun olup olmadığına yönelik görüş alınmıştır. Bu uzmanların üçü de fen bilgisi eğitiminde STEM veya mühendislik tasarım süreci üzerinde çalışmış uzmanlardır. Bu doğrultuda üç puanlayıcı birbirlerinden bağımsız olarak biyomimetik tasarım defteri mühendislik tasarım defteri rubriğini "uygun" veya "uygun değil" şeklinde değerlendirmişlerdir. Daha sonra elde edilen veriler kategorik sayısal verilere dönüştürülmüştür. Uzmanlar arası uyumun belirlenebilmesi için puanlayıcı güvenirliğini belirlemek çok önemlidir. Puanlayıcılar arası güvenirlik, birden fazla uzmanın bir durumu aynı şekilde ölçmesidir (Yıldırım & Şimşek, 2021). Bu kapsamda biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defteri rubriğinin uygunluğunu belirlemek amacıyla değerlendiriciler arasındaki değerlendirici güvenirliğini belirlemek için Gwet's AC_1 analizi kullanılmıştır.

Gwet's AC1 analizi ile puanlayıcılar arası güvenirlik hesaplanmıştır. Analizler irrCAC paketi (v1.0) ile R 4.3.2 ortamında yürütülmüştür. Gwet's AC_1 katsayısı, rastgele şans uyumunu düzeltir ve Kappa değerine nazaran pozitif yönde önyargısız bir istatistiksel analizdir (Gwet, 2008). Analiz sonuçları değerlendiriciler arasında istatistiksel olarak anlamlı ve mükemmel düzeyde uyum olduğunu göstermiştir: AC_1 = .946, %95 GA [.822, 1.000], $p < .001$.

Puanlayıcılar Arası Güvenirliğe İlişkin Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında uzmanların rubriği değerlendirmelerinin ardından öncelikle araştırmacı tarafından özel yetenekli öğrencilere ait mühendislik tasarım defterlerinin performanslarını değerlendirmiştir. Ardından iki alan uzmanı puanlayıcı birbirlerinden bağımsız olarak biyomimetik tasarım defteri mühendislik tasarım defteri rubriğine göre bir öğrencinin mühendislik tasarım defterine ilişkin performansını değerlendirmişlerdir. Toplamda araştırmacıyla birlikte 3 kişi performansları değerlendirmiştir.

Bu kapsamda biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defteri rubriğinin puanlayıcılar arasındaki puanlayıcı güvenirliğini belirlemek için Fleiss Kappa istatistiği kullanılmıştır. Fleiss Kappa, ikiden fazla puanlayıcının verdiği puanlar arasındaki uyumun hesaplanmasında kullanılan güvenilir bir yöntemdir (Fleiss, 1971). Analiz sonuçları puanlayıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı ve mükemmel düzeyde uyum olduğunu ortaya koymuştur: $\kappa = .82$, %95 GA [.61, 1.00], $p < .001$.

Mühendislik Tasarım Defterlerinin Analizi

Araştırmada elde edilen verilerin analizinde doküman analizi tekniği kullanılmıştır. Doküman analizi, çeşitli durumlar nedeniyle elde edilen belgelerin incelenerek verilerin toplanması işlemidir. Diğer bir deyişle, doküman analizi, belirli bir amaç doğrultusunda analiz edilecek içeriklere erişmeyi, bu içeriklerin okunmasını, bu içeriklerden notlar alınmasını ve içeriklerin değerlendirilmesini içeren adımları kapsamaktadır (Karasar, 2011).

Doküman analizi tekniği ile özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım defterleri, biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayanan mühendislik tasarım defteri rubriği ile mühendislik tasarım sürecindeki aşamalara ilişkin kriterlere göre sınıflandırılarak sayısal veriler elde edilmiştir. Her bir öğrenciye ait olan sayısal değerler betimsel istatistiğe tabi tutularak analiz edilmiştir. Betimsel istatistik, örneklemin betimlenmesinde ortaya konan sayılardır. Diğer bir ifadeyle elde edilen verilerin düzenlenmesi, elde edildiği grubu betimlemesi ve bu verilerden çıkarımlarda bulunabilmesine imkân veren bir analiz tekniğidir (Turgut ve Baykul, 2019).

Bulgular

Bu araştırmada özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defterlerindeki performansları, geliştirilen rubrik kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgular, kriter bazında performans analizi, performans dağılımları ve öğrenci performans örüntüleri olmak üzere üç ana tema altında sunulmuştur.

Genel Performans Durumu

Özel yetenekli öğrencilerin (n=15) biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defteri rubriğinden aldıkları puanların genel değerlendirmesi, performansların çoğunlukla beklenen düzey (3 puan) ile beklenen düzeyin altında (0-2 puan) yoğunlaştığını göstermektedir.

13 kriter üzerinden yapılan değerlendirmede, öğrencilerin yalnızca Hazırlık-1 kriterinde beklenen düzeyin çok üzerinde (5 puan) performans gösterebildikleri (n=4, %26,7) tespit edilmiştir. Bu durum, özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım sürecinin başlangıç aşamasında güçlü performans sergilediklerini, ancak süreç ilerledikçe teknik uygulama aşamalarında zorlandıklarını göstermektedir.

Öğrencilerin tüm kriterler bazında performans dağılımları Tablo 1'de sunulmuştur.

Kriter Bazında Performans Analizi

Araştırma bulgularına göre özel yetenekli öğrencilerin en yüksek performans gösterdikleri kriterler Hazırlık-1 (M=3,27, SS=1,48) ve Karar Verme (M=3,20, SS=0,86) kriterleridir. Bu iki kriter, öğrencilerin beklenen düzeyin kısmen üzerinde performans sergiledikleri alanları temsil etmektedir. Hazırlık-1 kriterinde öğrencilerin %26,7'si (n=4) beklenen düzeyin çok üzerinde (5 puan), %20'si (n=3) beklenen düzeyin üzerinde (4 puan) performans göstermiştir. Bu kriterdeki standart sapmanın yüksek olması (SS=1,48), öğrenciler arasında heterojen bir dağılım olduğunu ve bireysel farklılıkların belirgin olduğunu işaret etmektedir. Karar verme kriterinde ise öğrencilerin %46,7'si (n=7) beklenen düzeyin üzerinde (4 puan) performans gösterirken, hiçbir öğrenci başarısız (0 puan) düzeyde kalmamıştır. Bu kriterdeki düşük standart sapma değeri (SS=0,86), öğrencilerin bu alanda daha tutarlı performans sergilediklerini göstermektedir. Tüm kriterler için ortalama, standart sapma ve performans düzeyi bilgileri Tablo 2'de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defteri rubriği performans dağılımları

Kriterler	5 Puan		4 Puan		3 Puan		2 Puan		1 Puan		0 Puan	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Kavramsal Boyut Kriterleri												
Hazırlık-1	4	26,7	3	20,0	3	20,0	4	26,7	0	0,0	1	6,7
Hazırlık-2	0	0,0	2	13,3	9	60,0	3	20,0	1	6,7	0	0,0
Tanımlama	0	0,0	4	26,7	7	46,7	3	20,0	1	6,7	0	0,0
Öğrenme	0	0,0	1	6,7	6	40,0	7	46,7	1	6,7	0	0,0
Tasarım Boyutu Kriterleri												
Planlama-1	0	0,0	0	0,0	1	6,7	4	26,7	4	26,7	6	40,0
Planlama-2	0	0,0	1	6,7	0	0,0	2	13,3	10	66,7	2	13,3
Test Etme	0	0,0	0	0,0	4	26,7	3	20,0	5	33,3	3	20,0
Karar Verme	0	0,0	7	46,7	4	26,7	4	26,7	0	0,0	0	0,0
Tasarımın Niteliğine İlişkin Kriterler												
Yenilik/Orijinallik	0	0,0	0	0,0	3	20,0	2	13,3	10	66,7	0	0,0
Uygulanabilirlik	0	0,0	0	0,0	3	20,0	7	46,7	5	33,3	0	0,0
Defter Özelliklerine İlişkin Kriterler												
Tamamlama Bireysel	0	0,0	0	0,0	5	33,3	7	46,7	3	20,0	0	0,0
Tamamlama Takım	0	0,0	0	0,0	5	33,3	8	53,3	2	13,3	0	0,0
MTD Sağlamlığı ve Düzeni	0	0,0	2	13,3	3	20,0	7	46,7	5	33,3	0	0,0

Not: N = 15. Puanlama: 5 = Beklenen düzeyin çok üzerinde, 4 = Beklenen düzeyin üzerinde, 3 = Beklenen düzey, 2 = Beklenen düzeyin kısmen altında, 1 = Beklenen düzeyin çok altında, 0 = Başarısız/Hiç doldurulmamış. MTD = Mühendislik Tasarım Defteri.

Tablo 2. Biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defteri rubriği kriter bazında performans istatistikleri

Kriterler	N	M	SS	Min.	Max.	Performans Düzeyi
Kavramsal Boyut Kriterleri						
Hazırlık-1	15	3,27	1,48	0	5	Beklenen Düzeyin Kıs. Üz.
Hazırlık-2	15	2,80	0,77	1	4	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
Tanımlama	15	2,93	0,88	1	4	Beklenen Düzeyin Kıs. Üz.
Öğrenme	15	2,47	0,74	1	4	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
Ortalama (Kavramsal Boyutu)	15	2,86	0,96	0,75	4,25	Beklenen Düzeyin Altında
Tasarım Boyutuna İlişkin Kriterler						
Planlama-1	15	1,00	1,00	0	3	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Planlama-2	15	1,20	0,94	0	4	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Test Etme	15	1,53	1,12	0	3	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Karar Verme	15	3,20	0,86	2	4	Beklenen Düzeyin Kıs. Üz.
Ortalama (Tasarım Boyutu)	15	1,73	0,98	0,5	3,50	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Tasarımın Niteliklerine İlişkin Kriterler						
Yenilik/Orijinallik	15	1,53	0,83	1	3	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Uygulanabilirlik	15	1,87	0,74	1	3	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Ortalama (Tasarım Nitelikleri)	15	1,70	0,78	1,0	3,0	Beklenen Düzeyin Çok Altında
Defter Özelliklerine İlişkin Kriterler						
Tamamlanma (Bireysel) Durumu	15	2,13	0,74	1	3	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
Tamamlanma (Takım) Durumu	15	2,20	0,67	1	3	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
MTD Sağlamlığı ve Düzeni	15	2,13	1,06	1	4	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
Ortalama (Defter Özellikleri)	15	2,15	0,82	1,0	3,3	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında
Genel Ortalama	15	2,17	0,91	0,77	3,61	Beklenen Düzeyin Kıs. Altında

Not: M = Ortalama, SS = Standart Sapma, Min = Minimum değer, Max = Maksimum değer. Performans düzeyi değerlendirmesi: 0-0,99 = Başarısız, 1,00-1,99 = Beklenen düzeyin çok altında, 2,00-2,49 = Beklenen düzeyin altında, 2,50-2,99 = Beklenen düzeye yakın, 3,00-3,49 = Beklenen düzeyin üzerinde, 3,50-4,00 = Beklenen düzeyin çok üzerinde, 4,01-5,00 = Olağanüstü performans.

Araştırma bulgularına göre özel yetenekli öğrencilerin beklenen düzeyde performans gösterdikleri kriterler, Hazırlık-2 (M=2,80, SS=0,77), Tanımlama (M=2,93, SS=0,88) ve Öğrenme (M=2,47, SS=0,74) kriterleridir. Bu kriterler, mühendislik tasarım sürecinin kavramsal ve teorik boyutlarını temsil etmektedir. Bu kriterlerde performans dağılımlarının çoğunlukla beklenen düzey (3 puan) ile beklenen düzeyin kısmen altında (2 puan) yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle öğrenme kriterinde öğrencilerin %46,7'sinin (n=7) beklenen düzeyin kısmen altında performans göstermesi, biyomimetik tasarım yaklaşımına yönelik araştırma ve bilgi edinme süreçlerinde desteklenmesi gereken alanlar olduğunu işaret etmektedir.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgusu, öğrencilerin Tasarım Boyutunda (Planlama-1, Planlama-2 ve Test Etme) yaşadıkları zorluklardır. Planlama-1 (M=1,00, SS=1,00), Planlama-2 (M=1,20, SS=0,94) ve Test Etme (M=1,53, SS=1,12) kriterleri, öğrencilerin en düşük performans gösterdikleri alanları oluşturmaktadır.

- Planlama-1 kriterinde öğrencilerin %40'ı (n=6) başarısız (0 puan) düzeyde kalmıştır
- Planlama-2 kriterinde öğrencilerin %66,7'si (n=10) beklenen düzeyin çok altında (1 puan) performans göstermiştir
- Her iki planlama kriterinde de beklenen düzeyin üzerinde (4-5 puan) performans gösteren öğrenci bulunmamaktadır.

Test etme kriterinde ise öğrencilerin %20'si (n=3) başarısız düzeyde kalırken, %33,3'ü (n=5) beklenen düzeyin çok altında performans göstermiştir. Bu durum, özel yetenekli öğrencilerin tasarım testleri ve değerlendirme süreçlerinde sistematik desteğe ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Performans Örüntüleri ve Örüntü Analizi

Bulgular, özel yetenekli öğrencilerin performanslarında belirgin bir örüntü ortaya koymaktadır. Öğrenciler, Hazırlık-1, Tanımlama ve Karar Verme kriterlerinde görece başarılı olurken; Planlama-1, Planlama-2 ve Test Etme kriterlerinde ise önemli zorluklar yaşamaktadırlar.

Bu örüntü, Renzulli (2012) tarafından tanımlanan özel yetenekli öğrenci karakteristikleri ile tutarlılık göstermektedir. Özel yetenekli öğrenciler genellikle soyut düşünme, kavramsal anlama ve problem tanımlama konularında güçlü performans sergilerken, somut uygulama ve teknik detaylandırma aşamalarında ek desteğe ihtiyaç duyabilmektedirler (Reis & Renzulli, 2009). Bu durum, mevcut araştırmada öğrencilerin hazırlık ve karar verme aşamalarında başarılı olurken planlama aşamalarında zorlanmaları ile paralellik göstermektedir.

Kriterler arası standart sapma değerleri incelendiğinde ise, öğrencilerin en tutarlı performans gösterdikleri alanlar; Mühendislik Tasarım Defterlerinin (Takım) Tamamlanma Durumu (SS=0,67) ile Öğrenme, Uygulanabilirlik, Mühendislik Tasarım Defterlerinin (Bireysel) Tamamlanma Durumu (SS=0,74) kriterleri olmuştur.

En değişken performans gösterdikleri kriter ise hazırlık-1 kriteri (SS=1,48) olmuştur. Bu durum, öğrencilerin probleme hazırlanma ve ön araştırma aşamasında bireysel farklılıklarının en belirgin şekilde ortaya çıktığını göstermektedir.

Tasarım Nitelikleri Performansı

Yenilik/Orijinallik (M=1,53, SS=0,83) ve Uygulanabilirlik (M=1,87, SS=0,74) kriterlerindeki performanslar, öğrencilerin yaratıcı tasarım üretme konusunda beklenen düzeyin altında kaldıklarını göstermektedir. Özellikle yenilik/orijinallik kriterinde öğrencilerin %66,7'sinin (n=10) beklenen düzeyin çok altında (1 puan) performans göstermesi, biyomimetik tasarım yaklaşımının öğrenciler tarafından tam olarak içselleştirilemediğini düşündürmektedir.

Defter Özellikleri

Mühendislik Tasarım Defterlerinin (Bireysel) Tamamlanma Durumu (M=2,13, SS=0,74) ve Mühendislik Tasarım Defterlerinin (Takım) Tamamlanma Durumu (M=2,20, SS=0,67) kriterlerindeki performanslar, öğrencilerin süreç yönetimi becerilerinin beklenen düzeyde olduğunu göstermektedir. Takım çalışmalarında bireysel çalışmalara göre çok küçük düzeyde daha yüksek performans (0,07 puan fark) sergilenmiş olması, özel yetenekli öğrencilerin iş birlikli öğrenme ortamlarından faydalandıklarına işaret etmektedir.

Performans Dağılımlarında Çarpıklık

Araştırmanın önemli bir bulgusu, performans dağılımlarının çoğu kriterde çarpık dağılım göstermesidir. Bu durum, beklenen düzeyde başarı gösteren öğrencilerle temel gereksinimleri karşılayamayan öğrenciler arasında keskin ayrımlar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çarpık dağılım örüntüsü, özel yetenekli öğrencilerde bile mühendislik tasarım süreçlerinin karmaşıklığının bireysel farklılıkları belirginleştirdiğini göstermektedir.

Tartışma

Bu araştırma, özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım defterlerindeki performanslarını sistematik olarak değerlendiren ilk çalışmalardan biridir. Elde edilen bulgular, özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım sürecinde belirgin performans örüntüleri sergilediklerini ve bu örüntülerin hem özel yetenek karakteristikleri hem de mühendislik tasarım sürecinin karmaşıklığı ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Kavramsal ve Tasarım Performans Ayrımının Yorumlanması

Araştırmanın en dikkat çekici bulgusu, öğrencilerin kavramsal boyutlarda (M=2,86) tasarım boyutundan (M=1,73) önemli ölçüde daha başarılı olmalarıdır. Bu bulgu, özel yetenekli öğrencilerin bilişsel profillerine ilişkin mevcut literatürle tutarlılık göstermektedir.

Renzulli & Reis (2014) tarafından belirtildiği üzere, özel yetenekli öğrenciler genellikle soyut düşünme, kavramsal ilişkilendirme ve yaratıcı problem tanımlama konularında üstün performans sergilerler. Bu araştırmada öğrencilerin hazırlık aşamasında (M=3,27) ve karar verme aşamasında (M=3,20) gösterdikleri yüksek performans, bu teorik çerçeveyi desteklemektedir. Özellikle hazırlık-1 kriterinde öğrencilerin %26,7'sinin beklenen düzeyin çok üzerinde performans göstermesi, özel yetenekli öğrencilerin problem durumlarını kavrama ve ön araştırma yapma konularındaki güçlü yanlarını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, öğrencilerin planlama aşamalarında yaşadıkları zorluklar (Planlama-1: M=1,00; Planlama-2: M=1,20) dikkat çekicidir. Bu durum, Pyryt (2004) tarafından vurgulanan "kavramsal anlayış ile pratik uygulama arasındaki boşluk" fenomeni ile açıklanabilir. Özel yetenekli öğrenciler bazen yüksek düzeyde kavramsal anlayışa sahip olmalarına rağmen, bu anlayışlarını somut tasarım çözümlerine dönüştürme konusunda zorlanabilmektedirler.

Tasarım nitelikleri performansında elde edilen bulgular, Helms ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan araştırmanın

sonuçları ile tutarlılık göstermektedir. Araştırmacılar, biyomimetik tasarım sürecinin öğrenciler için bilişsel olarak zorlu olduğunu ve doğal sistemlerin analizinden tasarım çözümlerine geçişin sistematik öğretim gerektirdiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Fayemi ve arkadaşları (2017), biyomimetik tasarım eğitiminde yaratıcılık ve uygulanabilirlik arasındaki dengeyi sağlamanın önemli bir pedagojik zorluk olduğunu vurgulamışlardır. Mevcut araştırmada elde edilen düşük orijinallik skorları, özel yetenekli öğrencilerin bile bu karmaşık tasarım yaklaşımını öğrenmek için yapılandırılmış rehberliğe ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Biyomimetik Tasarım Yaklaşımının Zorlukları

Öğrencilerin yenilik/orijinallik (M=1,53) ve uygulanabilirlik (M=1,87) kriterlerindeki düşük performansları, biyomimetik tasarım yaklaşımının eğitimsel zorluklarını yansıtmaktadır. Bu bulgular, Vincent ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan araştırmanın sonuçları ile uyumludur. Araştırmacılar, biyomimetik tasarım sürecinin doğal sistemlerin analizinden teknolojik çözümlere geçiş aşamasında öğrenciler için bilişsel zorluklar yarattığını belirtmişlerdir.

Frankić & Niewiarowski (2017) tarafından yapılan kapsamlı analiz, biyomimetik tasarım eğitiminde en büyük zorluğun öğrencilerin biyolojik fenomenleri mühendislik prensipleriyle bağdaştırmakta yaşadıkları güçlükler olduğunu göstermiştir. Bu araştırmada öğrencilerin %66,7'sinin yenilik/orijinallik kriterinde beklenen düzeyin çok altında performans göstermesi, bu zorluğun özel yetenekli öğrenciler için de geçerli olduğunu ortaya koymaktadır.

Öğretimsel Çıkarımlar ve Farklılaştırılmış Eğitim

Performans dağılımlarında gözlenen çarpıklık, özel yetenekli öğrencilerin de mühendislik tasarım eğitiminde farklılaştırılmış öğretim yaklaşımlarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Tomlinson (2017) tarafından önerildiği üzere, öğrencilerin güçlü oldukları alanlarda derinleştirme fırsatları sunulurken, zorlandıkları alanlarda sistematik destek sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, bu bulgu, farklılaştırılmış öğretimin önemini vurgulamaktadır. Tomlinson & Imbeau (2023) tarafından belirtildiği üzere, özel yetenekli öğrenciler homojen bir grup değildir ve bireysel öğrenme profillerine göre farklılaştırılmış öğretim stratejilerine ihtiyaç duymaktadırlar. Mevcut araştırmada gözlenen performans çeşitliliği, mühendislik tasarım eğitiminde öğrencilerin farklı güçlü yönlerini destekleyecek ve zayıf yönlerini geliştirmelerini sağlayacak pedagojik yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle STEM eğitiminde bireyselleştirilmiş öğretim stratejilerinin önemini vurgulayan alanyazın VanTassel-Baska (2013) ile tutarlılık göstermektedir.

Özellikle teknik uygulama aşamalarındaki performans düşüklüğü, mühendislik tasarım eğitiminde "scaffold-fading" yaklaşımının önemini ortaya koymaktadır. Wood ve arkadaşları (1976) tarafından geliştirilen bu yaklaşıma göre, öğrencilere başlangıçta yoğun yapısal destek sağlanmalı, yeterlilik geliştikçe bu destek kademeli olarak azaltılmalıdır. Bu araştırmada planlama kriterlerinde öğrencilerin %40'ının başarısız düzeyde kalması, bu aşamalarda sistematik yapısal desteğin kritik önemini göstermektedir.

İş birlikli Öğrenme Ortamlarının Potansiyeli

Takım tamamlama kriterinde bireysel tamamlama kriterine göre minimal düzeyde de olsa daha yüksek performans (2,20 vs 2,13) sergilenmesi, özel yetenekli öğrencilerin iş birlikli öğrenme ortamlarından faydalandığına işaret etmektedir. Bu bulgu, Johnson & Johnson (2009) tarafından yapılan meta-analiz çalışmasının sonuçları ile tutarlılık göstermektedir. Araştırmacılar, özel yetenekli öğrencilerin heterojen gruplar içerisinde çalışırken hem akademik hem de sosyal becerilerini geliştirdiklerini belirtmişlerdir.

Bununla birlikte, her iki kriterdeki performans düzeylerinin beklenen düzeyin altında kalması (2,13 ve 2,20), süreç yönetimi becerilerinin geliştirilmesi gereken alanlar olduğunu göstermektedir. Bu durum, özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım sürecinin organizasyonel boyutlarında ek desteğe ihtiyaç duyduklarını düşündürmektedir.

Rubrik Tabanlı Değerlendirmenin Katkıları

Bu araştırmada geliştirilen rubrik (AC_1 = .946, κ = .82), özel yetenekli öğrencilerin mühendislik tasarım defteri performanslarının değerlendirilmesinde yüksek güvenirlik sağlamıştır. Bu bulgu, Brookhart (2018) tarafından vurgulanan "rubrik kullanımının biçimlendirici değerlendirme potansiyeli" ile uyumludur. Araştırmacı, iyi tasarlanmış rubriklerin hem öğrenci performansının objektif değerlendirilmesini hem de öğrencilere spesifik geri bildirim sağlanmasını mümkün kıldığını belirtmektedir.

Rubriğin 13 kriter üzerinden kategorisel değerlendirme yapmasının, öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerinin sistematik olarak belirlenmesine imkân sağladığı görülmüştür. Bu durum, özel yetenekli öğrenci eğitiminde bireyselleştirilmiş öğretim planlarının geliştirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Bu araştırma, özel yetenekli öğrencilerin biyomimetik tasarım entegrasyonuna dayalı mühendislik tasarım süreçlerinde belirgin performans örüntüleri sergilediklerini ortaya koymuştur. Öğrencilerin kavramsal boyutlarda gösterdikleri başarı, özel yetenek karakteristikleri ile tutarlılık gösterirken, teknik uygulama aşamalarındaki zorluklar sistematik eğitimsel desteğin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Eğitim Politikası Yapıcıları İçin Öneriler

- BİLSEM öğretim programlarında mühendislik tasarım süreçlerine daha fazla yer verilmesi,
- Öğretmenlerin mühendislik ve biyomimetik tasarım pedagojisi konusunda profesyonel gelişim programlarına katılımının desteklenmesi,
- Biyomimetik tasarım yaklaşımının STEM eğitimi yaklaşımı öğretim programlarına sistematik entegrasyonu,
- Özel yetenekli öğrencilerin STEM eğitimi yaklaşımının, mühendislik tasarım sürecinin ve biyomimetik tasarım yaklaşımlarının da dahil edildiği bir öğretim programı geliştirilmesi önerilmektedir.

Öğretmenler İçin Öneriler

- 21 haftalık uzun öğretim programının uygulanması öğrencilerin performanslarını olumsuz etkilemiş olabilir. Bu nedenle kısa süreli ancak daha fazla tasarım problemi ile öğretim süreci sürdürülmesi,
- Öğrencilerin kavramsal güçlü yanlarından hareketle tasarım becerilerinin geliştirilmesi,
- Planlama aşamalarında yapısal destek (scaffolding) stratejilerinin kullanılması,
- İş birlikli öğrenme ortamlarının takım etkinlikleriyle etkin şekilde tasarlanması,

- Biçimlendirici değerlendirme amaçlı rubrik kullanımının yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Araştırmacılar İçin Öneriler

- Özel yetenekli öğrencilerin ülkelerin ekonomik ve teknolojik olarak kalkınmasına katkıda bulunmaları için mühendislik tasarım eğitimi araştırmalarının çeşitlendirilmesi (Chan vd., 2010; Mann vd., 2011),
- Zenginleştirilmiş öğretim programlarının geliştirilmesi ve özel yetenekli öğrencilerin performanslarının incelenmesi,
- Biyomimetik tasarım pedagojisinde öğrencilerin etkinliğini arttırmak, iş birlikli öğrenmeyi desteklemek (Galaleldin vd., 2018; Stains vd., 2018), öğrencilerin doğal sistemleri ve mühendislik bağlamlarını keşfetmeleri (Jibril, 2021; Nelson & Brennan, 2022) için kanıt tabanlı öğretim stratejilerinin geliştirilmesi,
- Çağın gereksinimleri doğrultusunda özel yetenekli öğrencilerin teknolojide gelişimlerinin desteklenmesi için teknoloji destekli mühendislik tasarım araçlarının eğitimindeki etkinliğinin araştırılması,
- Özel yetenekli öğrenci eğitimi ile mühendislik tasarım süreçlerinin kesişiminde yeni bilgi üretimine yer verilmesi,
- Biyomimetik tasarım entegrasyonunun özel yetenekli öğrencilerde performans örüntülerine etkisinin belirlenmesi önerilmektedir.
- Bu araştırmada nitel araştırma yöntemi ve rubrik kullanılarak özel yetenekli öğrencilerin performansları belirlenmiştir. Diğer araştırmalarda nicel araştırma yöntemi ve farklı türde veri toplama araçları kullanılarak öğrencilerin performanslarının belirlenmesi önerilmektedir.

Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Bu araştırmanın bulgularına dayalı olarak gelecekte yapılacak araştırmalar için şu öneriler sunulmaktadır:

1. Boylamsal Araştırmalar: Öğrencilerin mühendislik tasarım becerilerinin uzun vadeli gelişiminin takip edilmesi, eğitimsel müdahalelerin etkinliğinin değerlendirilmesine imkân sağlayacaktır.
2. Karma Yöntem Yaklaşımları: Nicel verilerin nitel gözlemler ve mülakatlarla desteklenmesi, performans örüntülerinin altında yatan nedenlerin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlayacaktır.
3. Müdahale Çalışmaları: Tasarım oluşturma aşamalarında sistematik destek programlarının geliştirilmesi ve etkinliğinin test edilmesi, uygulamaya dayalı çıkarımların elde edilmesine katkı sağlayacaktır.
4. Rubrik Geliştirme Çalışmaları: Özel yetenekli öğrenci eğitimi veren kurumlara (BİLSEM) yönelik rubrik yoluyla değerlendirme aracının geliştirilmesi önerilmektedir.

Yazar Katkı Oranı

Bu araştırma birinci yazarın doktora tezinin bir bölümünü içermektedir. Birinci yazar çalışmanın planlanması, alan yazın taraması veri toplanması ve analizi sürecini yürütmüş ve yazımının tamamını gerçekleştirmiştir. Tüm yazarlar araştırma sürecine katkı sağlamıştır ve çalışmanın son halini okumuş ve onaylamıştır.

Etik Kurul Beyanı

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Etik Kurulunda (Sayı No. E-77082166-302,08,01-780220) 17.10.2023 tarihli 18 sayılı toplantısında alınan onay kararı ile yürütülmüştür.

Çatışma Beyanı

Yazarlar çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma, SDK-2024-9085 numaralı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir.

Kaynakça

Abdelrahman, R. M. (2020). Metacognitive awareness and academic motivation and their impact on academic achievement of Ajman University students. *Heliyon*, *6*(9), e04192. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04192

Abdulaal, R. M., Al-Bahi ,A. M., Soliman ,A. Y., & Iskanderani, F. I. (2011). Design and implementation of a project-based active/cooperative engineering design course for freshmen. *European Journal of Engineering Education*, *36*(4), 391-402. https://doi.org/10.1080/03043797.2011.598498

Asal Özkan, R., & Sarikaya, R. (2023). Mühendislik tasarım temelli fen etkinliklerinin dördüncü sınıf öğrencilerinin bilimsel yaratıcılıklarına etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, *55*, 154-167. https://doi.org/10.53444/deubefd.1208412

Aschbacher, P., & and Alonzo, A. (2006). Examining the utility of elementary science notebooks for formative assessment purposes. *Educational Assessment*, *11*(3-4), 179-203. https://doi.org/10.1080/10627197.2006.9652989

Badarnah, L. (2017). Form Follows Environment: Biomimetic approaches to building envelope design for environmental adaptation. *Buildings*, *7*(2), 40. https://doi.org/10.3390/buildings7020040

Barak, M. (2010). Motivating self-regulated learning in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, *20*(4), 381-401. https://doi.org/10.1007/s10798-009-9092-x

Baumgartner, R., Somorjai, R., Summers, R., Richter, W., Ryner, L., & Jarmasz, M. (2000). Resampling as a cluster validation technique in fMRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *11*(2), 228-231. https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2586(200002)11:2%253C228::AID-JMRI23%253E3.0.CO;2-Z

Benek, İ., & Tiryaki, A. (2025). Özel yetenekli öğrencilerin çevre kirliliğine yönelik algılarının zihin haritaları ile belirlenmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, *23*(1), 225-249. https://doi.org/10.37217/tebd.1471398

Bıyık, B. Y., & Şenel, E. A. (2019). Science notebook practice for science lesson: a research on fourth grades. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *48*(2), Article 2. https://doi.org/10.14812/cuefd.442805

Biomimicry Insitute. (2015). *What is biomimicry?* Biomimicry Toolbox. https://toolbox.biomimicry.org/introduction/

Bolat, M., & Malkoç, T. (2021). The effect of music education in the ımprovement of gifted and talented students' social skills. *Journal of Turkish Studies*, *16*(Volume 16 Issue 5), 1463-1481. https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.49974

Bright, S., & Calvert, E. (2023). Educational technology: barrier or bridge to equitable access to advanced learning opportunities? *Gifted Child Today*, *46*(3), 187-200. https://doi.org/10.1177/10762175231168711

Brink, S., Carlsson, C. J., Enelund, M., Georgsson, F., Keller, E., Lyng, R., & McCartan, C. (2021). Curriculum agility: responsive organization, dynamic content, and flexible education. *2021*

IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 1-5. https://doi.org/10.1109/FIE49875.2021.9637287

Brookhart, S. M. (2023). Dereceli puanlama anahtarı nedir ve neden önemlidir? (F. Elkonca, Çev.). Içinde İ. Karakaya & F. N. Fişne (Ed.), *Dereceli puanlama anahtarlarının hazırlanması ve uygulanması* (1. Baskı, s. 4). Pegem Akademi.

Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, *97*(3), 369-387. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00985.x

Bruck, H. A., Gershon, A. L., Golden, I., Gupta, S. K., Gyger, L. S., Magrab, E. B., & Spranklin, B. W. (2007). Training mechanical engineering students to utilize biological inspiration during product development. *Bioinspiration & Biomimetics*, *2*(4), S198-S209. https://doi.org/10.1088/1748-3182/2/4/S08

Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2020). *Eğitimde bilimsel araştırma yöntemleri* (28. Baskı). Pegem Akademi.

Chan, Y.-Y., Hui, D., Dickinson, A. R., Chu, D., Cheng, D. K.-W., Cheung, E., Ki, W.-H., Lau, W.-H., Wong, J., Lo, E. W. C., & Luk, K.-M. (2010). Engineering outreach: A successful ınitiative with gifted students in science and technology in hong kong. *IEEE Transactions on Education*, *53*(1), 158-171. https://doi.org/10.1109/TE.2009.2030178

Cho, K. S., Seong, J. S., & Lee, H. (2019). Development of an engineering design process-based teaching and learning model for scientifically gifted students. *Asia-Pacific Science Education*, *5*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s41029-019-0047-6

Coşkun, V., & Özkaya, A. (2020). Öğretmen eğitiminde mühendislik odaklı disiplinlerarası işbirliğine dayalı stem uygulaması ve ders izlencesi. *Ihlara Eğitim Araştırmaları Dergisi*, *5*(2), 327-361. https://doi.org/10.47479/ihead.823328

Cotán, A., Aguirre, A., Morgado, B., & Melero, N. (2021). Methodological strategies of faculty members: Moving toward inclusive pedagogy in higher education. *Sustainability*, *13*(6), 3031. https://doi.org/10.3390/su13063031

Creswell., J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4. Editions). Sage Publications.

Cross, J. R., & Cross, T. L. (2015). Clinical and mental health ıssues in counseling the gifted individual. *Journal of Counseling & Development*, *93*(2), 163-172. https://doi.org/10.1002/j.1556-6676.2015.00192.x

Dat, N. D., Bien, N. V., Khuyen, N. T. T., Ha, N. T. V., An, H. T. T., & Anh, N. T. P. (2024). Arduino-based experiments: Leveraging engineering design and scientific inquiry in stem lessons. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, *4*(1), Article 1. https://doi.org/10.53889/ijses.v4i1.317

Douglas, K., Moore, T. J., & Merzdorf, H. (2018). Informed designers? Students' reflections on their engineering design process. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*. https://doi.org/10.18404/ijemst.440347

Fayemi, P. E., Wanieck, K., Zollfrank, C., Maranzana, N., & Aoussat, A. (2017). Biomimetics: Process, tools and practice. *Bioinspiration & Biomimetics*, *12*(1), 011002. https://doi.org/10.1088/1748-3190/12/1/011002

Fifield, S. (2022). Gifted and talented education. Içinde *Encyclopedia of Teacher Education* (ss. 734-734). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8679-5_300081

Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, *76*(5), 378-382. https://doi.org/10.1037/h0031619

Forniés, I. L., & Muro, L. B. (2012). A top-down biomimetic design process for product concept generation. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, *7*(1), 27-48. https://doi.org/10.2495/DNE-V7-N1-27-48

Frankić, A., & Niewiarowski, P. (2017). Educational aspects of biomimicry. *Zygote Quartely*, *1*(18). https://journalhosting.ucalgary.ca/index.php/zq/issue/view/5498

Fraser-Seeto, K. T., Howard, S., & Woodcock, S. (2015). An investigation of teachers' awareness and willingness to engage with a self-directed professional development package on gifted and talented education. *Australian Journal of Teacher Education*, *40*(40). https://doi.org/10.14221/ajte.2015v40n1.1

Galaleldin, M., Anis, H., Dumond, P., & Knox, D. (2018). Scaffolding strategies for teaching engineering design in a collaborative project-based learning environment. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.10548

Gebeshuber, I. C. (2024). Editorial Board Members' Collection Series: Biomimetic design, constructions and devices in times of change I. *Biomimetics*, *9*(10), 614. https://doi.org/10.3390/biomimetics9100614

Halawa, S., Lin, T. C., & Hsu, Y. S. (2024). Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, *11*(1), 43. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5

Han, H.-J., & Shim, K.-C. (2019). Development of an engineering design process-based teaching and learning model for scientifically gifted students at the Science Education Institute for the gifted in South Korea. *Asia-Pacific Science Education*, *5*(1), 13. https://doi.org/10.1186/s41029-019-0047-6

Hayes, S., Desha, C., & Baumeister, D. (2020). Learning from nature – biomimicry innovation to support infrastructure sustainability and resilience. *Technological Forecasting and Social Change*, *161*, 120287. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120287

Hays, N., Badarnah, L., & Jain, A. (2024). Biomimetic design of building facades: An evolutionary-based computational approach inspired by elephant skin for cooling in hot and humid climates. *Frontiers in Built Environment*, *10*, 1309621. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1309621

Helms, M., Vattam, S. S., & Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: Process and products. *Design Studies*, *30*(5), 606-622. https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003

Hong, J., Toye, G., & Leifer, L. J. (1996). Engineering design notebook for sharing and reuse. *Computers in Industry*, *29*(1), 27-35. https://doi.org/10.1016/0166-3615(95)00052-6

Jacobs, S., Eggermont, M., Helms, M., & Wanieck, K. (2022). The education pipeline of biomimetics and its challenges. *Biomimetics*, *7*(3), 93. https://doi.org/10.3390/biomimetics7030093

Jibril, M. (2021). *The evaluation between importance of educational needs, and satisfaction about it as perceived by Engineering students at Dire Dawa University Ethiopia*. https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPPCOJ7.v1

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, *38*, 365-379. https://doi.org/10.3102/0013189X09339057

Kahraman, E., & Doğan, A. (2020). STEM etkinliklerine yönelik ortaokul öğrencilerinin görüşleri. *Anadolu Öğretmen Dergisi*, *4*(1), 1-20. https://doi.org/10.35346/aod.728000

Kalıncı Karagöz, A., & Ulutaş, B. (2024). Özel yeteneklilerin eğitiminde bireyselleştirilmiş eğitim programları hakkında okul bileşenlerinin görüş ve önerileri. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *24*(2), 1096-1121. https://doi.org/10.17240/aibuefd.2024..-1331219

Karasar, N. (2011). *Bilimsel araştırma yöntemi*. Nobel.

Kaya, N. G., & Ataman, A. (2017). Üstün yetenekli öğrencilerin istenmeyen davranışlarına yönelik öğretmenlerin eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *37*(3), 835-853. https://doi.org/10.17152/gefad.332459

Kaya, N. G., Mertol, H., Turhan, G., Araz, D., & Uçar, H. (2022). Üstün yetenekli öğrencilerin eğitiminde farklılaştırma ve zenginleştirme uygulamalarına ilişkin yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 41. https://doi.org/10.14582/DUZGEF.2022.189

Kelley, T. R. (2011). Engineer's notebook- A design assessment tool. *Technology and Engineering Teacher*, *70*(7), 30-35.

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, *3*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z

Kettler, T. (2016). Why are economists evaluating the impact of gifted education? *Journal of Advanced Academics*, *27*(2), 81-89. https://doi.org/10.1177/1932202X16636172

Kim, E., Oliver, J. S., & Kim, Y. A. (2019). Engineering design and the development of knowledge for teaching among preservice science teachers. *School Science and Mathematics*, *119*(1), 24-34. https://doi.org/10.1111/ssm.12313

Koch, J., & Burghardt, M. D. (2002). Design technology in the elementary school—a study of teacher action research. *Journal of Technology Education*, *13*(2). https://doi.org/10.21061/jte.v13i2.a.2

Kutlu, E., Bakırcı, H., & Kara, Y. (2022). STEM education effect on inquiry perception and engineering knowledge. *Participatory Educational Research*, *9*(3), Article 3. https://doi.org/10.17275/per.22.64.9.3

Laine, S., Hotulainen, R., & Tirri, K. (2019). Finnish elementary school teachers' attitudes toward gifted education. *Roeper Review*, *41*(2), 76-87. https://doi.org/10.1080/02783193.2019.1592794

Long, N. T., Yen, N. T. H., & Hanh, N. V. (2020). The Role of Experiential Learning and Engineering Design Process in K-12 Stem Education. *International Journal of Education and Practice*, *8*(4), Article 4. https://doi.org/10.18488/journal.61.2020.84.720.732

Mann, E. L., Mann, R. L., Strutz, M. L., Duncan, D., & Yoon, S. Y. (2011). Integrating engineering into K-6 curriculum. *Journal of Advanced Academics*, *22*(4), 639-658. https://doi.org/10.1177/1932202X11415007

Mazgutova, D., & McCray, G. (2023). An exploratory analysis of revision behavior development of L2 writers on an intensive English for academic purposes program using Bayesian methods. *Frontiers in Communication*, *7*, 934583. https://doi.org/10.3389/fcomm.2022.934583

Mills, A., Durepos, G., & Wiebe, E. (2010). *Encyclopedia of case study research, Volumes I and II.*

Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Stohlmann, M. S., Ntow, F. D., & Smith, K. A. (2013). *A framework for implementing quality k-12 engineering education*. 23.46.1-23.46.21. https://peer.asee.org/a-framework-for-implementing-quality-k-12-engineering-education

Nağaç, M., & Kalayci, S. (2021). The effect of STEM activities on students' academic achievement and problem solving skills: Matter and heat unit. *e-Kafkas Eğitim Araştırmaları Dergisi*, *8*(3), 480-498. https://doi.org/10.30900/kafkasegt.964063

Nelson, N., & Brennan, R. (2022). LENS: A model for engineering faculty development. *9th Research in Engineering Education Symposium (REES 2021) and 32nd Australasian Association for Engineering Education Conference (REES AAEE 2021)*, 823-831. https://doi.org/10.52202/066488-0090

Nesmith, S. M., & Cooper, S. (2021). Connecting engineering design and inquiry cycles: Impact on elementary preservice teachers' engineering efficacy and perspectives toward teaching engineering. *School Science and Mathematics*, *121*(5), 251-262. https://doi.org/10.1111/ssm.12469

Norah Saleh M. Almuqbil. (2021). The reality and obstacles of implementing primary teachers with the engineering design in teaching science. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, *8*(9), 86-93. https://doi.org/10.21833/ijaas.2021.09.012

Oğurlu, İ., & Uç, B. (2024). Ekolojik mimarı tasarımda biyomimikri ve ekomimikri. *YDÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *6*(1), Article 1.

Okulu, H. Z., Arabacioğlu, S., & Oguz Unver, A. (2022). Doğa ve bilim kamplarının zenginleştirilmesi: özel yetenekli öğrencilere yönelik tasarlanan bir STEM kampının incelenmesi. *Milli Eğitim Dergisi*, *51*(235), 1983-2008. https://doi.org/10.37669/milliegitim.910038

Okulu, H. Z., & Oğuz Ünver, A. (2021). Mühendisliğin STEM eğitimine entegrasyonunda kuramsal bir inceleme. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *8*(2), 545-558. https://doi.org/10.21666/muefd.841152

Ökcü, M., & Emir, S. (2024). Dördüncü sınıf olağan gelişim gösteren ve özel yetenekli öğrencilerin yaratıcı okuma ve okuduğunu anlama becerilerinin incelenmesi. *Ana Dili Eğitimi Dergisi*, *12*(1), 111-136. https://doi.org/10.16916/aded.1371958

Özkan, R. A., & Sarıkaya, R. (2023). Mühendislik tasarım temelli fen etkinliklerinin dördüncü sınıf öğrencilerinin bilimsel yaratıcılıklarına etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, *55*, Article 55. https://doi.org/10.53444/deubefd.1208412

Özünlü, Ö., & Çepni, S. (2023). Türkiye'de mühendislik tasarım temelli öğretim ile ilgili fen eğitimi alanında yapılan çalışmaların tematik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, *56*, 890-910. https://doi.org/10.53444/deubefd.1263217

Peterson, B., Hipple, B. T., Peterson, B., & Hipple, B. T. (2020). *Formative assessment in hands-on STEM education* (formative-assessment-in-hands-on-stem-education) [Chapter]. Https://Services.Igi-Global.Com/Resolvedoi/Resolve.Aspx?Doi=10.4018/978-1-7998-0323-2.Ch009; IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0323-2.ch009

Pyryt, M. C. (2004). Pegnato revisited: Using discriminant analysis to identify gifted children. *Psychology Science*, *46*(3), 342-347.

Reis, S. M., & Renzulli, J. S. (2009). Myth 1: The gifted and talented constitute one single homogeneous group and giftedness is a way of being that stays in the person over time and experiences. *Gifted Child Quarterly*, *53*(4), 233-235. https://doi.org/10.1177/0016986209346824

Renzulli, J. S. (2012). Reexamining the role of gifted education and talent development for the 21st century: A four-part theoretical approach. *Gifted Child Quarterly*, *56*(3), 150-159. https://doi.org/10.1177/0016986212444901

Renzulli, J. S., & Reis, S. M. (2014). *The schoolwide enrichment model: A how-to guide for talent development* (3rd Ed.). Prufrock Press.

Ruiz-Primo, M. A., Li ,Min, Ayala ,Carlos, & and Shavelson, R. J. (2004). Evaluating students' science notebooks as an assessment tool. *International Journal of Science Education*, *26*(12), 1477-1506. https://doi.org/10.1080/0950069042000177299

Sá, A. A. M. D., & Viana, D. M. (2023). Design and biomimicry: A review of interconnections and creative potentials. *Biomimetics*, *8*(1), 61. https://doi.org/10.3390/biomimetics8010061

Sevgen Abaci, H., & Tüzün, Ü. N. (2023). Özel yetenekli öğrencilerin eğitiminde bilim ve sanat entegresi. *Bilim Armonisi*, *5*(2), 32-38. https://doi.org/10.37215/bilar.1144744

Stains, M., Harshman, J., Barker, M. K., Chasteen, S. V., Cole, R., DeChenne-Peters, S. E., Eagan, M. K., Esson, J. M., Knight, J. K., Laski, F. A., Levis-Fitzgerald, M., Lee, C. J., Lo, S. M., McDonnell, L. M., McKay, T. A., Michelotti, N., Musgrove, A., Palmer, M. S., Plank, K. M., … Young, A. M. (2018). Anatomy of STEM teaching in North American universities. *Science*, *359*(6383), 1468-1470. https://doi.org/10.1126/science.aap8892

Stake, R. E. (2005). *Multiple case study analysis*. Guilford Press.

Stevens, D. D., & Levi, A. J. (2013). *Introduction to rubrics: An assessment tool to save grading time, convey effective feedback, and promote student learning* (2. Editions). Stylus Publishing.

Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F. C. (2011). Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest*, *12*(1), 3-54. https://doi.org/10.1177/1529100611418056

Svarovsky, G. N., & Shaffer, D. W. (2006). Design meetings and design notebooks as tools for reflection in the engineering design course. *Proceedings. Frontiers in Education. 36th Annual Conference*, 7-12. https://doi.org/10.1109/FIE.2006.322548

Şahbaz, E., Karabulut, H., Gökçe, H., & Kariper, İ. A. (2024). Fen eğitiminde mühendislik tasarım becerisine yönelik öğretmen adaylarının görüşlerinin incelenmesi. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, *20*(1), 21-37. https://doi.org/10.17244/eku.1386533

Tekerkaya, A., & Kurnaz, A. (2024). Özel yetenekli öğrencilere yaratıcı düşünme öğretiminde anadolu efsaneleri ve mitleri metinlerinin uygunluğu. *Türkiye Üstün Zekalı ve Dahi Çocuklar Eğitim Vakfı Dergisi*, *1*(1), 43-55. https://doi.org/10.29329/tuzdev.2024.1093.3

Terrier, P., Glaus, M., & Raufflet, E. (2019). BiomiMETRIC assistance tool: A quantitative performance tool for biomimetic design. *Biomimetics*, *4*(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/biomimetics4030049

Ting, Y.-L. (2016). STEM from the perspectives of engineering design and suggested tools and learning design. *Journal of Research in STEM Education*, *2*(1), Article 1. https://doi.org/10.51355/jstem.2016.22

Tomlinson, C. A. (2017). *How to differentiate instruction in academically diverse classrooms* (3rd Ed.). ASCD.

Tomlinson, C. A., & Imbeau, M. B. (2023). *Leading and managing a differentiated classroom*. ASCD.

Turgut, M. F., & Baykul, Y. (2019). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme* (8. Baskı). Pegem.

Uchiyama, Y., Blanco, E., & Kohsaka, R. (2020). Application of biomimetics to architectural and urban design: A review across scales. *Sustainability*, *12*(23), 9813. https://doi.org/10.3390/su12239813

VanTassel-Baska, J. (2013). The world of cross-cultural research: Insights for gifted education. *Journal for the Education of the Gifted*, *36*(1), 6-18. https://doi.org/10.1177/0162353212471451

Vieira, C., Seah, Y. Y., & Magana, A. J. (2018). Students' experimentation strategies in design: Is process data enough? *Computer Applications in Engineering Education*, *26*(5), 1903-1914. https://doi.org/10.1002/cae.22025

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Biomimetics: İts practice and theory. *Journal of The Royal Society Interface*, *3*(9), 471-482. https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127

Wijegunawardana, I. D., & De Mel, W. R. (2021). Biomimetic designs for automobile engineering: A review. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *18*(3), 9029-9041. https://doi.org/10.15282/ijame.18.3.2021.15.0692

Winarno, N., Rusdiana, D., Samsudin, A., Susilowati, E., Ahmad, N., & Afifah, R. M. A. (2020). The steps of the engineering design process (EDP) in science education: A systematic literature review. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, *8*(4), Article 4. https://doi.org/10.17478/jegys.766201

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Psychology and Psychiatry*, *17*(2), 89-100. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x

Worrell, F. C., Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Dixson, D. D. (2019). Gifted students. *Annual Review of Psychology*, *70*(1), 551-576. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102846

Yalçınkaya, I. (2023). Türkiye'de Özel yeteneklilerin fen bilimleri eğitimi ile ilgili lisansüstü çalışmaların incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, *56*, 326-345. https://doi.org/10.53444/deubefd.1111554

Yeh, C. H., Huang, J. C. Y., & Yu, C. K. (2011). Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: A notebook case study. *Research in Engineering Design*, *22*(3), 125-141. https://doi.org/10.1007/s00163-010-0099-9

Yeung, J. W. K. (2024). The dynamic relationships between educational expectations and science learning performance among students in secondary school and their later completion of a STEM degree. *Behavioral Sciences*, *14*(6), 506. https://doi.org/10.3390/bs14060506

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2021). *Nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin. https://www.seckin.com.tr/kitap/176755156

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6. Editions). Sage Publications.

Ziadat, A. H., & Sakarneh, M. A. (2021). Online design thinking problems for enhancing motivation of gifted students. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, *20*(8), 91-107. https://doi.org/10.26803/ijlter.20.8.6

Extended Abstract

The engineering design process plays a crucial role in students' development in science education. Several studies emphasize the critical role of the engineering design process, particularly in developing 21st-century skills (Halawa et al., 2024; Long et al., 2020; Nesmith & Cooper, 2021). The engineering design process improves students' problem-solving, critical and creative thinking, and communication skills (Han & Shim, 2019; Winarno et al., 2020). According to Winarno et al. (2020), the engineering design process contributes not only to students' academic success but also to their scientific reasoning skills and their learning through the process related to design thinking. Han & Shim (2019) presented an instructional model based on the engineering design process developed for students with special needs and demonstrated how this model helps students solve daily life problems.

The engineering design process is an iterative and cyclical process. This characteristic of the engineering design process challenges students to formulate and test hypotheses, develop design solutions as prototypes, test these prototypes, and improve their designs by learning from their shortcomings. This allows students to engage in inquiry-based learning in science by incorporating real-world problems into their engineering designs (Dat et al., 2024; Vieira et al., 2018). Therefore, it also contributes to the development of scientific process skills and scientific reasoning (Kim et al., 2019; Kutlu et al., 2022; Winarno et al., 2020). In addition to these, another important aspect of the engineering design process is providing a teaching framework that embeds the scientific inquiry process within the context of problem-solving (Özkan & Sarıkaya, 2023). This facilitates connections between disciplines.

Gifted students exhibit characteristics distinct from the typical student population. The Three-Ring Model, developed by Renzulli (2012), emphasizes that gifted students exhibit a combination of high general aptitude, creativity, and commitment to their tasks. These characteristics align with the complex and multidimensional nature of the engineering design process and indicate that gifted students require differentiated educational approaches in this area.

The Assessment Potential of Engineering Design Notebooks

The performance of gifted students, particularly those based on biomimetic design integration, plays a crucial role in the engineering design process. Gifted students possessing exceptional talents, creativity, and high-level intellectual skills can maximize their existing potential by engaging with biomimetic design approaches. Therefore, combining different design approaches contributes to design problem solving, contributes to the engineering design of biomimetic design strategies, and enriches students' learning experiences. Gifted students' abstract thinking skills play a key role in the biomimetic design process. Research on this topic indicates that integrating nature-inspired designs into engineering design problems provides frameworks for students' abstraction and synthesis skills (Hays et al., 2024). Gifted students' innovative capacities enable them to identify and model the functions of living organisms, providing a critical foundation for subsequent design solutions. Furthermore, the ability to transform biological strategies into engineering design problems allows for improved product functionality, as seen in biomimetic designs that demonstrate enhanced environmental adaptability and efficiency (Badarnah, 2017). The biomimetic design approach, like the engineering design process, has an interdisciplinary structure. Therefore, it is a design approach based on individuals working in different disciplines working in teams. Gifted students also achieve success by utilizing diverse thinking skills and working collaboratively. Therefore, it is necessary to assess the performance of these students. Examining the engineering design notebooks of gifted students is crucial for assessing their educational processes in determining their performance in the engineering design process based on biomimetic design integration.

Engineering design notebooks are a tool that embodies students' learning styles and the principles of active and experiential learning. As stated by Douglas et al. (2018), engineering design notebooks allow students to take notes on outlined topics, express their thoughts and design processes, and reflect on their own learning. These notebooks support the iterative nature of the engineering design process, allowing students to monitor their own progress, make changes to their learning along the way and demonstrate their learning outcomes through documented evidence.

The Importance of Rubric-Based Assessment

Engineering design notebooks allow gifted students to assess their performance throughout the engineering design process, from defining design problems to deciding on their designs. Therefore, it is necessary to monitor the progress of gifted students throughout the engineering design process and assess their progress. For this purpose, rubrics are used.

A rubric is a consistent set of criteria that defines the level of performance. While rubrics are generally used to describe performance, they are also measurement tools that can be used for evaluation (Brookhart, 2023). Therefore, rubrics provide a structured framework that describes the criteria necessary to evaluate student performance across various dimensions.

Performance assessment through rubrics offers significant advantages for gifted students. As emphasized by Tomlinson (2017), gifted students are a heterogeneous group and require differentiated assessment approaches based on their individual learning profiles. Rubrics allow this differentiated assessment to be carried out systematically.

Conceptual Framework

A review of the literature reveals that while engineering design notebook rubrics are generally used to evaluate the work of engineering students (Abdulaal et al., 2011; Hong et al., 1996; Svarovsky & Shaffer, 2006; Yeh et al., 2011), some studies have also used them for formative assessment in science education for different age groups (Aschbacher & Alonzo, 2006; Bıyık & Şenel, 2019; Koch & Burghardt, 2002; Ruiz-Primo et al., 2004).

Some studies indicate that rubric-based assessments in engineering design education are effective in objectively and systematically determining student performance (Fraser-Seeto et al., 2015; Stevens & Levi, 2013). Rubrics facilitate the clear definition of learning objectives, the establishment of criteria for the features being assessed, and the provision of feedback to students. Results obtained from rubrics make the evaluation process clearer for teachers, or in other words, standardize it (Kaya & Ataman, 2017). However, most of these studies have been conducted on typically developing students, and there is limited research considering the unique characteristics of gifted students (Fifield, 2022; Worrell et al., 2019). This situation shows that improved rubrics need to be developed for

gifted students. Research is needed to demonstrate the extent to which these rubrics meet the individual needs of gifted students. When the literature is examined, the lack of evaluation of biomimicry design notebooks in gifted students creates a research gap.

The biomimetic design approach aims to develop innovative engineering design solutions inspired by the structures and functions of living organisms. However, most existing studies in this area are focused on general biomimetic applications and are product-based. It has ignored the issue of utilizing the performance potential of gifted students (Fayemi et al., 2017; Forniés & Muro, 2012).

Purpose and Contributions of the Research

The primary objective of this research is to systematically evaluate the performance of gifted students in engineering design notebooks based on biomimetic design integration. In this regard, there are no studies on the performance of gifted students in design processes. The biomimetic design process is a design approach that proposes innovative solutions inspired by nature. Therefore, the biomimetic design approach contributes to the development of higher-order thinking skills in gifted students (Jacobs et al., 2022). This approach should be integrated into the teaching process.

To this end, a rubric-based assessment was conducted to reveal the performance patterns of gifted students, identify their strengths and weaknesses, and offer educational implications. Rubrics are systematic measurement tools used to objectively evaluate student performance. Furthermore, these measurement tools enable students to receive feedback during the teaching process and create learning outcomes (Bruck et al., 2007; Terrier et al., 2019). Therefore, they enable objective evaluation of gifted students' thoughts and design ideas in their engineering design notebooks. This research seeks to answer the research problem, "How is the performance of gifted students in engineering design notebooks during the biomimetic design integration-based engineering design process?" The sub-problems of this research are:

"How is the performance of gifted students in engineering design notebooks during the a) Preparation, b) Learning, c) Planning, d) Testing, and e) Decision-Making stages of the biomimetic design integration-based engineering design process?"

Method

Research Model

This study employed an embedded case study design, which examines a main case and its sub-units among gifted students. The research was conducted with an exploratory approach. An embedded case study is a research design that examines multiple units of analysis within a single case (Yin, 2018). In this study, the main case represents the engineering design process based on biomimetic design integration, and the sub-cases related to this case represent engineering design notebooks. The units of analysis in this study are individual student performance profiles, criterion-based performance patterns and developmental changes over a 21-week period.

The exploratory case study design is used as a preliminary step in a general causal or explanatory research design that investigates a relatively new scientific area of research where the research questions are not clearly defined and formulated (Mazgutova & McCray, 2023; Mills et al., 2010). Exploratory case studies also contribute to the development of hypotheses that can be tested in the future (Baumgartner et al., 2000). Furthermore, exploratory case studies are also used in interdisciplinary applications, allowing researchers from different disciplines to share their insights (Cotán et al., 2021). In this research, the engineering design notebook performances of gifted students based on biomimetic design integration were conducted with an exploratory case study design due to the reasons stated above.

Small sample sizes are acceptable and common in research conducted with gifted students due to the inherently limited accessibility and homogeneous characteristics of this group (Subotnik et al., 2011). Indeed, studies conducting in-depth analyses with samples of 12-20 participants in gifted student research are frequently found in the literature (Cross & Cross, 2015).

Study Group

The study was conducted in a STEM workshop for gifted students studying at a Science and Art Center (BİLSEM) affiliated with the Ankara Provincial Directorate of National Education during the 2023-2024 academic year. The workshop consisted of gifted individuals identified as having general talent at this institution. The number of participants (n=15) in the study was appropriate for exploratory research with gifted students (Creswell & Poth, 2018).

The activities were conducted over a 21-week period, with four class hours per week, totalling 84 class hours in total. The students' educational levels at their schools were 5th, 6th, and 7th grades. The prolonged and intensive interaction (84 hours per student) provided a rich dataset that compensated for the small sample size (Stake, 2005).

In the study, analogous sampling, a purposive sampling method, was used in the sample selection process. The homogeneous sampling method allows for an in-depth description of a specific group, and all individuals participating in the study are selected from individuals with similar characteristics (Patton, 2015).

All participants in this study were:

- Gifted individuals identified in the general ability area
- Students studying in the same STEM workshop
- Students with no prior experience in biomimetic design.

Data Collection Tool

The "Biomimetic Design Integration-Based Engineering Design Notebook Evaluation Rubric" was developed by the researcher to evaluate the engineering design notebooks used by gifted students in the biomimetic design integration-based engineering design process.

Rubric Development Process

The "Biomimetic Design Integration-Based Engineering Design Notebook Evaluation Rubric" was developed to evaluate the biomimetic design integration-based engineering design notebooks of gifted students.

The dimensions of the rubric were adapted to biomimetic design based on the engineering design process stages established by Moore et al. (2013). The systematic approach suggested by Stevens & Levi (2013) was followed in the rubric development process.

1. **Performance Definition:** Evaluation of activities performed during the engineering design process stages based on biomimetic design integration.
2. **Criteria Determination:** Development of 13 separate criteria based on the engineering design process stages.
3. **Performance Level Definition:** Creation of a six-point rating scale (0-5 points).
4. **Expert Opinion:** Obtaining validity opinions from six field experts (biology, science, and measurement).
5. **Pilot Application:** Conducting an inter-rater reliability test.

Data Collection Process

The data collection process was carried out by systematically collecting the students' engineering design notebook records over a 21-week period. For each student:

- Weekly notebook performance monitoring
- Continuous evaluation based on criteria
- A comprehensive rubric evaluation was conducted at the end of the process.

Ethics committee approval was obtained from the Gazi University Rectorate Ethics Committee in accordance with the decision of its meeting number 17, dated October 17, 2023, and numbered E-77082166-302.08.01-780220. Furthermore, the necessary permitting process for the implementation of the study was completed by the Ankara Provincial Directorate of National Education. Following this, institutional permission was also obtained. Following this permission process, since the participants were under 18 years of age, their parents were also asked to fill out the participant consent form and provided their consent.

Data Analysis

Analysis Strategy

A multiple analysis approach was adopted in the study. Data analysis was conducted at three levels:

1. **Criterion-Level Analysis:** Descriptive statistics were used for each rubric criterion.
2. **Individual-Level Analysis:** Student performance profiles were determined.
3. **Pattern-Level Analysis:** The relationships between the criteria and also performance of the groups were identified.

Descriptive Analysis

Numerical data obtained through document analysis were subjected to descriptive statistics. Mean, standard deviation, frequency, and percentage distributions were calculated for each criterion (Büyüköztürk et al., 2020). Analyses were conducted using the SPSS 27.0 software package.

Reliability Analyses

The reliability of the rubric in the study was tested in two stages: inter-rater reliability and intra-rater reliability.

Analysis of Data Regarding Inter-Rater Reliability

As part of the study, experts were consulted on the engineering design notebooks based on the biomimetic design integration engineering design notebook rubric, which consists of 13 separate criteria. The first group of experts consisted of six field experts: one assistant professor in science education, one doctoral science teacher, one assistant professor in biology education, one associate professor in measurement and evaluation, and two assistant professors.

First, the experts were contacted via email to discuss validity. This feedback included suggestions for improving the clarity of the rubric items and the scoring system. Based on the feedback received from the field experts, the rubric was reviewed, necessary adjustments were made, and the same expert group was consulted again. After the final version of the rubric was determined, another expert group was consulted on the appropriateness of the rubric items. Three of these experts had worked on STEM or the engineering design process in science education. Therefore, the three raters independently rated the biomimetic design notebook engineering design notebook rubric as "appropriate" or "not appropriate." The obtained data were then converted into categorical numerical data. Determining rater reliability is crucial for determining inter-expert agreement. Inter-rater reliability refers to the measurement of a situation by multiple experts in the same way (Yıldırım & Şimşek, 2021). In this context, Gwet's AC1 analysis was used to determine the inter-rater reliability among raters to determine the appropriateness of the engineering design notebook rubric based on biomimetic design integration.

Inter-rater reliability was calculated using Gwet's AC1 analysis. Analyses were conducted using the irrCAC package (v1.0) in the R 4.3.2 environment. Gwet's AC_1 coefficient corrects for random chance agreement and is a statistical analysis that is not positively biased compared to the Kappa value (Gwet, 2008). The analysis results showed statistically significant and excellent agreement between raters: AC_1 = .946, 95% CI [.822, 1.000], $p < .001$.

Analysis of Data Regarding Inter-Rater Reliability

Within the scope of the research, after the experts evaluated the rubric, the performances of the engineering design notebooks of the gifted students were first evaluated by the researcher. Two field expert raters then independently evaluated a student's performance on the engineering design notebook based on the biomimetic design notebook rubric. A total of three people, including the researcher, evaluated the performances.

In this context, the Fleiss Kappa statistic was used to determine the inter-rater reliability of the engineering design notebook rubric based on biomimetic design integration. Fleiss Kappa is a reliable method used to calculate agreement between scores provided by more than two raters (Fleiss, 1971). The analysis results revealed statistically significant and excellent agreement between raters: $\kappa = .82$, 95% CI [.61, 1.00], $p < .001$.

Analysis of Engineering Design Notebooks

The document analysis technique was used to analyse the data obtained in the study. Document analysis is the process of collecting data by examining documents obtained for various reasons. In other words, document analysis involves accessing the content to be analysed for a specific purpose, reading this content, taking notes on it, and evaluating it (Karasar, 2011).

Using the document analysis technique, numerical data were obtained by classifying the engineering design notebooks of gifted students according to criteria related to the stages of the engineering design process using an engineering design notebook rubric based on biomimetic design integration. The numerical values belonging to each student were analysed using descriptive statistics. Descriptive statistics are the

numbers presented in the description of the sample. In other words, it is an analysis technique that allows the organization of the obtained data, the description of the group from which it was obtained, and the drawing of inferences from this data (Turgut and Baykul, 2019).

Findings

In this study, the performance of gifted students in biomimetic design integration-based engineering design notebooks was evaluated using the developed rubric. The findings are presented under three main themes: criterion-based performance analysis, performance distributions, and student performance patterns.

General Performance Status

The overall evaluation of the scores obtained by gifted students (n=15) in the biomimetic design integration-based engineering design notebook rubric shows that their performances were mostly at the expected level (3 points) and below the expected level (0-2 points).

In the evaluation based on 13 criteria, it was determined that the students (n=4, 26.7%) performed well above the expected level (5 points) only in the Preparatory-1 criterion. This suggests that gifted students demonstrated strong performance in the initial stages of the engineering design process, but as the process progressed, they struggled in the technical implementation stages.

Criteria-Based Performance Analysis

According to research findings, the criteria in which gifted students demonstrated the highest performance were Preparatory-1 (M=3.27, SD=1.48) and Decision-Making (M=3.20, SD=0.86). These two criteria represent areas where students performed slightly above the expected level. In the Preparatory-1 criterion, 26.7% (n=4) of students performed well above the expected level (5 points), and 20% (n=3) performed above the expected level (4 points). The high standard deviation (SD=1.48) in this criterion indicates a heterogeneous distribution among students and significant individual differences. In the Decision-Making criterion, 46.7% (n=7) of students performed above the expected level (4 points), while no student failed (0 points). The low standard deviation (SD=0.86) in this criterion indicates that students performed more consistently in this area.

According to the research findings, the criteria in which gifted students performed at the expected level were Preparation-2 (M=2.80, SD=0.77), Identification (M=2.93, SD=0.88), and Learning (M=2.47, SD=0.74). These criteria represent the conceptual and theoretical dimensions of the engineering design process. Performance distributions in these criteria were mostly concentrated between the expected level (3 points) and slightly below the expected level (2 points). In particular, the fact that 46.7% of students (n=7) performed slightly below the expected level in the Learning criterion indicates that there are areas that need support in the research and knowledge acquisition processes related to the biomimetic design approach.

The most striking finding of the research is the difficulties students experienced in the Design Dimension (Planning-1, Planning-2, and Testing). Planning-1 (M=1.00, SD=1.00), Planning-2 (M=1.20, SD=0.94), and Testing (M=1.53, SD=1.12) criteria constitute the areas in which students performed least.

40% (n=6) of students failed (0 points) on the Planning-1 criterion.

66.7% (n=10) of students performed well below the expected level (1 point) on the Planning-2 criterion.

No students performed above the expected level (4-5 points) on either planning criterion.

On the Testing criterion, 20% (n=3) of students failed, while 33.3% (n=5) performed well below the expected level. This demonstrates that gifted students need systematic support in the design testing and assessment processes.

Performance Patterns and Pattern Analysis

The findings reveal a distinct pattern in the performance of gifted students. While students are relatively successful in the Preparation-1, Identification, and Decision-Making criteria, they experience significant difficulties in the Planning-1, Planning-2, and Testing criteria.

This pattern is consistent with the characteristics of gifted students identified by Renzulli (2012). While gifted students generally demonstrate strong performance in abstract thinking, conceptual understanding, and problem definition, they may need additional support in the concrete application and technical elaboration stages (Reis & Renzulli, 2009). This parallels the students' success in the preparation and decision-making stages in the current study but their difficulty in the planning stage.

When the standard deviation values across criteria are examined, the areas in which students perform most consistently are: The "Completion Status of Engineering Design Notebooks (Team)" (SD=0.67) and "Learning, Applicability, and Completion Status of Engineering Design Notebooks (Individual)" (SD=0.74). The criterion with the most variable performance was "Preparation-1" (SD=1.48). This suggests that students' individual differences are most evident during the problem preparation and preliminary research phase.

Design Attribute Performance

Performance in the Novelty/Originality (M=1.53, SD=0.83) and Applicability (M=1.87, SD=0.74) criteria indicates that students fell below the expected level in producing creative designs. In particular, the fact that 66.7% (n=10) of the students performed well below the expected level (1 point) in the Novelty/Originality of criterion suggests that the biomimetic design approach has not been fully internalized by the students.

Notebook Attributes

Performance in the Engineering Design Notebook (Individual) Completion Status (M=2.13, SD=0.74) and Engineering Design Notebook (Team) Completion Status (M=2.20, SD=0.67) criteria indicates that the students' process management skills are at the expected level. The slightly higher performance (0.07 points difference) in teamwork compared to individual work indicates that gifted students benefit from collaborative learning environments.

Skewness in Performance Distributions

A key finding of the study is that performance distributions are skewed across most criteria. This reveals that there are sharp distinctions between students who achieve at the expected level and those who fail to meet basic requirements. This skewed distribution pattern suggests that even among gifted

students, the complexity of engineering design processes accentuates individual differences.

Discussion

This research is one of the first to systematically evaluate the performance of gifted students in engineering design notebooks based on biomimetic design integration. The findings indicate that gifted students exhibit distinct performance patterns throughout the engineering design process, and that these patterns are related to both their specific talent characteristics and the complexity of the engineering design process.

Interpreting the Conceptual and Design Performance Distinction

The most striking finding of the study is that students performed significantly better on the conceptual dimension (M=2.86) than on the design dimension (M=1.73). This finding is consistent with the existing literature on the cognitive profiles of gifted students.

As noted by Renzulli & Reis (2014), gifted students generally exhibit superior performance in abstract thinking, conceptual connection, and creative problem definition. The students' high performance in the preparation phase (M=3.27) and decision-making phase (M=3.20) in this study supports this theoretical framework. In particular, the fact that 26.7% of the students performed well above the expected level in the Preparation-1 criterion demonstrates the strengths of gifted students in comprehending problem situations and conducting preliminary research. However, the difficulties experienced by the students in the planning stages (Planning-1: M=1.00; Planning-2: M=1.20) are noteworthy. This can be explained by the "gap between conceptual understanding and practical application" phenomenon emphasized by Pyryt (2004). Gifted students sometimes possess a high level of conceptual understanding but may struggle to translate this understanding into concrete design solutions.

The findings regarding design qualification performance are consistent with the results of the study conducted by Helms et al. (2009). The researchers noted that the biomimetic design process is cognitively demanding for students and that the transition from analysis of natural systems to design solutions requires systematic instruction. Similarly, Fayemi et al. (2017) emphasized that striking the balance between creativity and applicability in biomimetic design education is a significant pedagogical challenge. The low originality scores obtained in the current study suggest that even gifted students require structured guidance to learn this complex design approach.

Challenges of the Biomimetic Design Approach

Students' low performance on the criteria of novelty/originality (M=1.53) and applicability (M=1.87) reflects the educational challenges of the biomimetic design approach. These findings are consistent with the results of a study by Vincent et al. (2006). The researchers noted that the biomimetic design process creates cognitive challenges for students in the transition from the analysis of natural systems to technological solutions.

A comprehensive analysis by Frankić & Niewiarowski (2017) showed that the greatest challenge in biomimetic design education is the difficulty students experience in reconciling biological phenomena with engineering principles. In this study, 66.7% of the students performed well below the expected level on the criteria of novelty/originality, which suggests that this challenge also applies to the gifted students.

Instructional Implications and Differentiated Instruction

The skewed performance distributions highlight the need for differentiated instruction in engineering design education for gifted students. As suggested by Tomlinson (2017), students should be provided with opportunities to deepen their strengths while providing systematic support in areas where they struggle. Furthermore, this finding highlights the importance of differentiated education. As noted by Tomlinson & Imbeau (2023), gifted students are not a homogeneous group and require differentiated instructional strategies based on their individual learning profiles. The diversity of performance observed in the current study highlights the need for pedagogical approaches in engineering design education that support students' diverse strengths and enable them to develop their weaknesses. This situation is consistent with the literature by VanTassel-Baska (2013), who emphasizes the importance of individualized instructional strategies, particularly in STEM education.

The decline in performance, particularly in the technical implementation phases, highlights the importance of the "scaffold-fading" approach in engineering design education. According to this approach, developed by Wood et al. (1976), students should be provided with intensive structural support initially and gradually reduced as proficiency develops. In this study, 40% of students' failure in planning criteria demonstrates the critical importance the systematic structural support at these stages.

The Potential of Collaborative Learning Environments

The modestly higher performance on the team completion criterion compared to the individual completion criterion (2.20 vs. 2.13) indicates that gifted students benefit from collaborative learning environments. This finding is consistent with the results of a meta-analysis by Johnson & Johnson (2009). The researchers noted that gifted students develop both academic and social skills when working in heterogeneous groups.

However, the fact that performance levels on both criteria were below expected levels (2.13 and 2.20) suggests that process management skills need to be developed. This suggests that gifted students need additional support in the organizational aspects of the engineering design process.

Contributions of Rubric-Based Assessment

The rubric developed in this study (AC_1 = .946, κ = .82) provided high reliability in assessing the engineering design notebook performance of gifted students. This finding is consistent with the "formative assessment potential of rubric use" emphasized by Brookhart (2018). The researcher states that well-designed rubrics enable both objective assessment of student performance and the provision of specific feedback to students.

The rubric's categorical assessment based on 13 criteria has been observed to allow for the systematic identification of students' strengths and weaknesses. This offers significant contributions to the development of individualized instructional plans for gifted students.

Conclusion and Recommendations

This research has revealed that gifted students exhibit distinct performance patterns in engineering design processes based on biomimetic design integration. While students' success in conceptual dimensions is consistent with their giftedness characteristics, the challenges in the technical implementation phases highlight the need for systematic educational support.

Recommendations for Educational Policymakers

- Increasing the emphasis on engineering design processes in BİLSEM (Scientific and Technological Research Council of Turkey) curricula,
- Supporting teachers' participation in professional development programs on engineering and biomimetic design pedagogy,
- Systematic integration of the biomimetic design approach into STEM education curricula,
- Developing a curriculum that incorporates the STEM education approach, the engineering design process, and biomimetic design approaches for gifted students is recommended.

Recommendations for Teachers

- Implementing a 21-week-long curriculum may have negatively impacted student performance. Therefore, it is recommended that the teaching process be continued with shorter but more design problems.
- Developing students' design skills by drawing on their conceptual strengths.
- Utilizing scaffolding strategies in the planning stages.
- Effectively designing collaborative learning environments with team activities.
- Expanding the use of rubrics for formative assessment purposes.

Recommendations for Researchers

- Diversifying engineering design education research to ensure that gifted students contribute to the economic and technological development of countries (Chan et al., 2010; Mann et al., 2011),
- Developing an enriched curriculum and examining the performance of gifted students,
- Developing evidence-based teaching strategies to increase student effectiveness in biomimetic design pedagogy, support collaborative learning (Galaleldin et al., 2018; Stains et al., 2018), and encourage students to explore natural systems and engineering contexts (Jibril, 2021; Nelson & Brennan, 2022),
- Investigating the effectiveness of technology-supported engineering design tools in education to support the technological development of gifted students in line with contemporary needs,
- Incorporating new knowledge generation at the intersection of gifted student education and engineering design processes,
- Determining the impact of biomimetic design integration on the performance patterns of gifted students is recommended.
- In this study, the performance of gifted students was determined using qualitative research methods and rubrics. It is recommended that other studies use quantitative research methods and different types of data collection tools to determine student performance.

Recommendations for Future Research

Based on the findings of this study, the following recommendations for future research are offered:

- **Longitudinal Studies:** Tracking the long-term development of students' engineering design skills will enable the evaluation of the effectiveness of educational interventions.
- **Mixed Methods Approaches:** Supporting quantitative data with qualitative observations and interviews will provide a more in-depth understanding of the underlying causes of performance patterns.
- **Intervention Studies:** Developing systematic support programs during the design development stages and testing their effectiveness will contribute to obtaining practice-based inferences.
- **Rubric Development Studies:** It is recommended that an evaluation tool be developed using rubrics for institutions (BİLSEM) that provide education to gifted students.

Author Contributions

This research comprises a portion of the first author's doctoral dissertation. The first author conducted the study's planning, literature review, data collection and analysis, and completed the entire manuscript. All authors contributed to the research process and read and approved the final version.

Ethical Declaration

This study was conducted with the approval decision taken at the 18th meeting of the Gazi University Rectorate Ethics Committee (Number No. E-77082166-302,08,01-780220) dated 17.10.2023.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest with any institution or individual within the scope of the study.

Acknowledgment

This research is supported by Gazi University Scientific Research Projects Coordination Unit, grant number SDK-2024-9085.