



Mühendislik Tasarım Temelli Matematik Etkinliklerinin Ortaokul Öğrencilerinin Akademik Başarılarına Etkisi ve Etkinliklere İlişkin Öğrenci Görüşleri *

Zeynep Gül DERTLİ¹, Bahadır YILDIZ²

Özet

Fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) disiplinlerinin bütünleştirilmesine yönelik girişimler hem ulusal hem de uluslararası alanyazında önemini artırmaktadır. Mühendislik doğası gereği diğer alanlar arasında köprü oluşturan ve soyut kavramlar için gerçek dünya bağlamı sağlayabilen bir disiplin olması sebebiyle STEM disiplinlerinin bütünleştirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu araştırmanın amacı, ortaokul matematik dersine yönelik tasarlanmış mühendislik tasarım etkinliklerinin öğrencilerin akademik başarılarına etkisi ile öğrencilerin etkinliklere ilişkin görüşlerini incelemektir. Bu amaç çerçevesinde, yedinci sınıf Oran ve Orantı konusunu kapsayan üç adet mühendislik tasarım etkinliği oluşturulmuştur. Araştırma ön test- son test kontrol gruplu yarı deneysel desen kullanılarak yürütülmüştür. Araştırmanın katılımcılarını 21 deney ve 17 kontrol olmak üzere, toplam 38 yedinci sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Araştırma sonucunda, mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin öğrencilerin Oran ve Orantı konusundaki başarılarını anlamlı şekilde artırdığı bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca öğrencilerin etkinliklere ilişkin görüşlerinin genel anlamda olumlu yönde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Öğrenciler mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin ilgi çekici, eğlenceli, gerçekçi, merak uyandırıcı, öğrenmeyi kolaylaştırıcı, yaratıcılığı geliştirici olduğunu ve yalnızca işlem yapma odaklı olmadığını ifade etmişlerdir.

Makale Bilgileri

Araştırma
Makalesi

Gönderim Tarihi

12/04/2023

Kabul Tarihi

12/03/2024

Yayın Tarihi

15/05/2024

Anahtar

Kelimeler

Mühendislik
tasarım
döngüsü,
Matematik
etkinliği,
STEM eğitimi

* Çalışma, ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir
1 Hacettepe Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-4750-5343>, zdertli@hacettepe.edu.tr
2 Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0003-4816-3071>,
bahadir@bahadiryildiz.net

Atıf:

Dertli, Z. G. ve Yıldız, B. (2024). Mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin ortaokul öğrencilerinin akademik başarılarına etkisi ve etkinliklere ilişkin öğrenci görüşleri. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi [PAUEFD]*, 61, 362-388. <https://doi.org/10.9779/pauefd.1282019>

Giriş

Gerçek dünyada işlenip kullanılmak üzere var olan bilginin net sınırları yoktur; karmaşık ve disiplinlerarasıdır. Dolayısıyla bir bütün olarak görülüp değerlendirilmeyi gerektirir (Frodeman ve diğerleri, 2010; Newell ve diğerleri, 2001). Bireylerin okullarda edindikleri işlemsel bilgiyi, gerçek dünya bağlamında anlamlı hale getirebilmeleri için de bu bütünlüğün göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Hızla değişen dünyaya uyum sağlayıp karşılaştığı problemlere yaratıcı çözümler geliştirebilen bireyler yetiştirebilmek için eğitimin bütünleştirilmesi fikri her geçen gün önemini artırmaktadır (Daugherty ve Carter 2018; Mulder, 2012). Günümüzde eğitimde başarılı kabul edilen ülkelerin birçoğunun bütünleştirilmiş, disiplinlerarası eğitim programlarını benimsedikleri görülmektedir (Drake ve Savage, 2016). Fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) disiplinlerinin ve varyasyonlarının bütünleştirilmesine yönelik girişimler de bu anlayış çerçevesinde hız kazanmıştır. Bütünleşik STEM eğitimi, disiplinlerarası eğitimin tipik örneklerinden biridir (Wang ve diğerleri, 2011). Bütünleşik STEM eğitimi STEM disiplinleri arasındaki ilişkileri kullanarak öğrencilere otantik öğrenme ortamları sağlayan, disiplin içinde ve disiplinler arasında bilgi ve becerileri kazandırmayı hedefleyen bir yaklaşımdır (National Academy of Engineering and National Research Council [NAE ve NRC], 2014). Her biri doğada var olan durumları anlamlandırıp insan hayatını kolaylaştıracak şekilde kullanmaya yönelik içeriğe sahip olan bu dört disiplin de, aralarındaki ilişkiler vurgulanarak disiplinlerarası bir yaklaşımla sunulmaya uygundur (NRC ve NAE, 2009). Roehrig ve ark. (2012) STEM disiplinlerinin sınıf içi uygulamalarda; farklı disiplinlerin önemli hedeflerini tek bir eğitim müfredatında birleştirerek sunulduğu veya bir disipline odaklanılarak diğer disiplinlerinin onu anlamlı hale getirmesi için bağlam olarak kullanıldığı entegrasyon biçimlerini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Bybee (2013) de fen veya matematiğe ait içeriğin teknoloji ve/veya mühendislik bağlamlarıyla desteklendiği, farklı disiplinlerin içerikleri öğretilirken aralarında işbirliği ve koordinasyonun sağlandığı, her bir disipline ait içerik ve fikirlerin eşit şekilde vurgulandığı veya genellikle küresel karmaşık sorunların çözümü için disiplinlerüstü bir yaklaşımın kullanıldığı farklı modeller tanımlamıştır.

STEM disiplinlerinin bütünleştirilmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde mühendislik tasarım döngüsünün sıklıkla tercih edildiği görülmektedir (Guzey ve diğerleri, 2016; Lie ve diğerleri, 2019). Bu durumun nedeni, mühendisliğin doğası gereği diğer alanlar arasında köprü oluşturan bir disiplin olmasıdır (Moore ve diğerleri, 2014). Mühendisler fen, teknoloji ve matematiğe yönelik bilgiyi günlük hayatta karşılaşılan problemlere çözüm getirmek amacıyla uygulamaya dökmektedirler (Channel, 2009). Matematik eğitimi açısından bakıldığında da mühendislikle arasında yöntem ve içerikler

bakımından karşılıklı bir ilişkinin ve güçlü bir bağlantının bulunduğunu söylemek mümkündür (Berry ve diğerleri, 2010; Moore ve diğerleri, 2014; NRC ve NAE, 2009). Mühendislik ve matematik, soyut kavramların anlamlı bir bağlamda sunulmasına olanak sağlayarak birbirlerini destekleyen iki disiplindir (Berry ve diğerleri, 2010; NRC ve NAE, 2009).

Mühendislik Tasarım Döngüsü

Mühendislik tasarım döngüsü; sistematik bir problem çözme, ürün ortaya koyma sürecidir. Mühendislik disiplini bir K-12 eğitim düzeyine dâhil edilirken mühendislik tasarım döngüsünü içermelidir (Fantz ve diğerleri, 2011; NRC ve NAE, 2009). Alanyazında mühendislik tasarım döngüsünü tanımlayan çalışmalar incelendiğinde (Atman ve diğerleri, 2007; Hynes ve diğerleri, 2014; NGSS Lead States, 2013; Uluslararası Teknoloji Eğitimi Derneği [ITEA], 2000) döngünün ortak biçimde kabul gören tanımları olmasa da bazı tipik özelliklerinin olduğu görülmektedir. Tanımlanan tasarım süreçlerinde doğrusal değil, döngüsel bir ilerleyiş bulunmaktadır. Ayrıca mühendislik tasarım döngüsü probleme dayalı, süreç ve ürün odaklı bakış açılarıyla ele alınmaktadır (Capobianco ve diğerleri, 2018). Bir mühendislik tasarım döngüsü verilen problemin tanımlanması, bu probleme uygun olabilecek çözümlerin araştırılması, bu çözümlerin test edilmesi ve gerekli olması durumunda testlerin tekrarlanması, süreç sonunda en uygun çözüme karar verilmesi sürecini içermektedir (Berland ve diğerleri, 2014; Hynes ve diğerleri, 2011; NGSS, 2013; Wendell ve diğerleri, 2010).

K-12 düzeyindeki öğrencilerin tasarım deneyimlerine katılmaları fikri, uluslararası alanda önemini artırmaktadır. Bu sebeple tasarım becerilerini geliştirme ve tasarım etkinlikleri yoluyla öğrenme konusunda öğretmenlerin bilinçli bir işbirliği içinde olmaları gereklidir (Crismond ve Adams, 2012). Öğrencileri mühendislik tasarım sürecine dâhil etmek probleme bir mühendis gibi, sorgulayıcı biçimde yaklaşmalarını sağlarken aynı zamanda; geleceğin tasarımcıları veya mühendisleri olarak geçici kimlikleri deneme fırsatları da sunarak anlamlı öğrenmeyi desteklemeye yardımcı olabilir (Crismond ve Adams, 2012; Moore ve diğerleri, 2014).

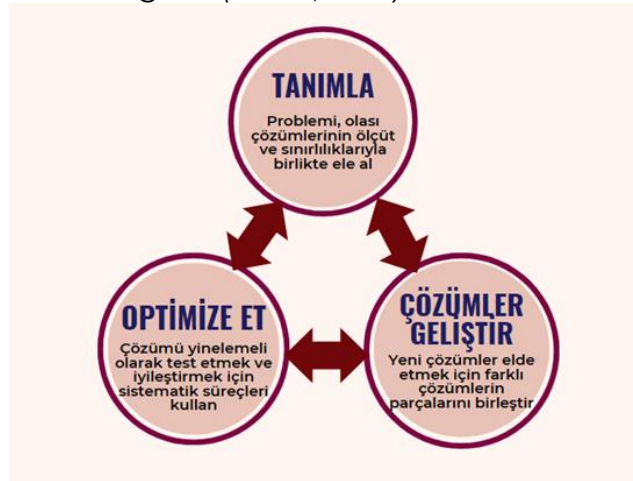
Alanyazında mühendislik tasarımının STEM eğitiminde bütünleştirici bir araç olarak kullanımının teşvik edildiği görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde mühendislik tasarımını STEM disiplinleriyle bütünleştiren uygulamaların, STEM performans ve başarısı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir (Fan ve Yu, 2017; Stohlmann ve diğerleri, 2017; Wendell ve Rogers, 2014). Ayrıca bu uygulamalar öğrencilerin gerçek hayatın içinden disiplinlerarası bir probleme sorgulayarak, araştırarak, işbirliği içinde yaklaşım matematik, fen gibi alanlardaki kavramsal bilgileri aktif şekilde kullanmalarına yardımcı olmaktadır (Brophy ve diğerleri, 2008; Hathcock ve diğerleri, 2015).

Alanyazında mühendislik tasarım döngüsünün matematik eğitimiyle ilişkilendirilerek kullanıldığı çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmalarda matematiğin mühendislik problemlerini çözmek için bir araç olarak kullanılabilirdiği veya mühendislik probleminin matematiksel kavramları öğrenciye kazandırmak için bir bağlam haline gelebildiği görülmektedir (Fitzallen, 2015). Araştırmalar mühendislik tasarımının öğrencilerin hacim, açılar, üç boyutlu cisimler gibi matematiksel kavramları anlamalarına yardımcı olmasının (Park vd., 2018; Pugalenti, 2019) yanı sıra matematiksel düşünme, problem çözme ve mühendislik disiplinine özgü becerilerin gelişimine de katkıda bulunduğunu göstermektedir (Alfieri ve diğerleri, 2015; Guler ve diğerleri, 2019; Maiorca, 2016). Matematik eğitiminde mühendislik entegrasyonu, avantajlarına rağmen diğer STEM disiplinlerine göre geri planda kalmıştır ve bu alandaki çalışmaların artırılmasına ihtiyaç vardır (English, 2016; Forde ve diğerleri, 2023; Maass ve diğerleri, 2019).

Bu çalışma kapsamında Şekil 1'de verilen, Next Generation Science Standards'ta (NGSS Lead States, 2013) ortaokul düzeyi için önerilen mühendislik tasarım döngüsü esas alınarak üç adet matematik etkinliği tasarlanmış ve yürütülmüştür. Tanımlanan bu tasarım döngüsünde, seviyeye uygun olarak öğrencilerin bir problemi hem kendinin hem de olası çözümlerinin sınırlılıklarını değerlendirerek ele almaları gerekmektedir. Öğrenciler bu sınırlar dâhilinde olası her çözümü değerlendirerek farklı çözümleri birleştirebilirler. Kendilerine en uygun olduğunu düşündükleri çözüme ulaşmak için çözümleri sürekli olarak test, revize ve optimize etmeleri beklenir.

Şekil 1

Mühendislik Tasarım Döngüsü (NGSS, 2013)



Uygulama sürecinde kullanılmak üzere tasarlanan etkinlikler, yedinci sınıf düzeyinde Oran ve Orantı konusunun kazanımlarını kapsamakta ve problemlerin çözümü için farklı olasılıkları değerlendirerek en iyi çözüme ulaşmayı hedeflemektedir. Matematik Dersi Öğretim

Programı'na göre 7. Sınıf Oran ve Orantı konusunun kazanımları şunlardır:

M.7.1.4.1. Oranda çokluklardan birinin 1 olması durumunda diğerinin alacağı değeri belirler.

M.7.1.4.2. Birbirine oranı verilen iki çokluktan biri verildiğinde diğerini bulur.

M.7.1.4.3. Gerçek hayat durumlarını inceleyerek iki çokluğun orantılı olup olmadığına karar verir.

M.7.1.4.4. Doğru orantılı iki çokluk arasındaki ilişkiyi ifade eder.

M.7.1.4.5. Doğru orantılı iki çokluğa ait orantı sabitini belirler ve yorumlar.

M.7.1.4.6. Gerçek hayat durumlarını inceleyerek iki çokluğun ters orantılı olup olmadığına karar verir.

M.7.1.4.7. Doğru ve ters orantıyla ilgili problemleri çözer" (Milli Eğitim Bakanlığı, 2018, s.66-67).

Oran ve orantı, günlük yaşamın içinde var olan, bilimsel hesaplamalarda ve farklı pozitif bilimlerdeki kavramları açıklamada sıklıkla kullanılan kavramlardır (Baykul, 2021; Tourniaire ve Pulos, 1985). Bu nedenle bu araştırmada kullanılan etkinliklerde de, oran ve orantı kavramlarının anlaşılıp etkin şekilde kullanılabileceği içerikler hazırlanmıştır.

Bu araştırmanın amacı, ortaokul matematik dersine yönelik tasarlanmış mühendislik tasarım etkinliklerinin öğrencilerin akademik başarılarına etkisini ve öğrencilerin etkinliklere ilişkin görüşlerini incelemektir.

Yöntem

Araştırmanın Modeli

Bu araştırma, nitel verilerle destekli deneysel bir araştırmadır. Çalışmada yarı deneysel desenlerden ön-test son-test kontrol gruplu tasarım kullanılmıştır. Bu desende seçkisiz atama kullanılmayıp gruplar belirli değişkenler üzerinden eşleştirilmektedir (Fraenkel ve diğerleri, 2012). Bu çalışmanın grupları, akademik başarı düzeyleri doğrultusunda eşleştirilmiştir. Bu araştırma için etik komisyon izni Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonunun 11.02.2022 tarihli ve E-51944218-300-00002032584 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Çalışma Grubu

Araştırmanın örneklemini 38 ortaokul yedinci sınıf öğrencisi oluşturmaktadır. Araştırmada kullanılan etkinliklerin uygulanması için bir özel okulun iki farklı yedinci sınıf şubesi seçilmiştir. Denek kaybı sonucu oluşabilecek olumsuz etkileri önlemek amacıyla bu iki şubeden katılımcı sayısı 21 olan grup deney, 17 olan ise kontrol grubu olarak atanmıştır. Araştırmacılar tarafından hazırlanan Akademik Başarı Testinin ön test ortalamalarına uygulanan Mann Whitney U testi sonuçlarına göre uygulama öncesinde deney ve kontrol grupları

arasında Oran ve Orantı başarıları yönünden anlamlı bir fark bulunmamaktadır. ($U=169.500$, $Z=-.276$, $p=0.783$; $p>0.05$).

Çalışmada Kullanılan Veri Toplama Araçları

Araştırmancının veri toplama araçlarını Oran ve Orantı konusuna yönelik Akademik Başarı Testi ve Görüşme Formu oluşturmuştur.

Akademik Başarı Testi

Akademik Başarı Testi yedinci sınıf Oran ve Orantı konusuna ilişkin öğretim programındaki (Milli Eğitim Bakanlığı [MEB], 2018) kazanımlara yönelik MEB, PISA ve TIMSS sınavlarında sorulmuş olan sorular kullanılarak hazırlanmıştır. Bu sınavlarda yer alan sorular geçerlik ve güvenilirlikleri test edilmiş sorular olduğundan testin geçerlik ve güvenilirliğini olumlu yönde etkileyeceği düşünülerek tercih edilmiştir. Testin kapsam geçerliği için iki uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Alınan görüş ve geri bildirimler doğrultusunda teste son şekli verilmiştir. Testin KR-20 güvenilirlik katsayısı 0.70 olarak hesaplanmıştır. Çoktan seçmeli 10 sorudan oluşan Akademik Başarı Testinin her bir sorusunun ilişkili olduğu kazanımlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Akademik Başarı Testi Sorularının İlişkili Olduğu Kazanımlar

Kazanımlar	Soru Numarası
M.7.1.4.1.	1
M.7.1.4.2.	2,3
M.7.1.4.3.	3,4
M.7.1.4.4.	4,6,10
M.7.1.4.5.	1,4
M.7.1.4.6.	8,9
M.7.1.4.7.	5,7,8,9

Görüş Formu

Katılımcı öğrencilerin etkinliklere ilişkin görüşlerini belirlemek amacıyla Görüş Formu kullanılmıştır. Araştırmacılar tarafından hazırlanan Görüş Formu, etkinliklere ve uygulama sürecine yönelik “Etkinlikte zorlandığınız yerler nelerdi?”, “Etkinlikte size kolay gelen yerler nelerdi?”, “Etkinliği 5 puan üzerinden değerlendirecek olsanız kaç puan verirsiniz? Neden?”, “Aynı etkinliğe katılım sağlayacak farklı öğrencilere ne tavsiye edersiniz?”, “Mühendislik tasarım etkinliğinin, Matematik dersi konuları hakkında görüşünüzü etkilediğini düşünüyor musunuz? Cevabınız evet ise bu konuya karşı görüşünüzü nasıl değiştirdiğini açıklayın. Cevabınız hayır ise sebebini açıklayın.” olmak üzere beş adet açık uçlu sorudan oluşmaktadır. Görüş Formu aracılığıyla her etkinlik sonrası bireysel görüşler yazılı olarak alınmıştır. Görüş Formu geçerliği için bir öğretim üyesi ve bir matematik öğretmenin görüşlerine başvurulmuştur. Geribildirimler doğrultusunda soruların amaca

uygunluğu ve anlaşılabilirliği bakımından düzenlemeler yapılmış ve formun son hali oluşturulmuştur.

Mühendislik Tasarım Temelli Matematik Etkinlikleri (MTTME)

Araştırmacılar tarafından oluşturulan üç etkinlik NGSS'in (2013) mühendislik tasarım döngüsü temel alınarak tasarlanmıştır. Etkinlikler tasarlanırken mühendislik tasarımı için anlamlı bir bağlamın kullanılmasına ve etkinliklerin 7. Sınıf Oran ve Orantı konusunun kazanımlarına uygun olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 2'de etkinliklerin kapsadığı kazanımlar verilmiştir.

Tablo 2

Mühendislik Tasarım Etkinlikleri ve Kapsadıkları Kazanımlar

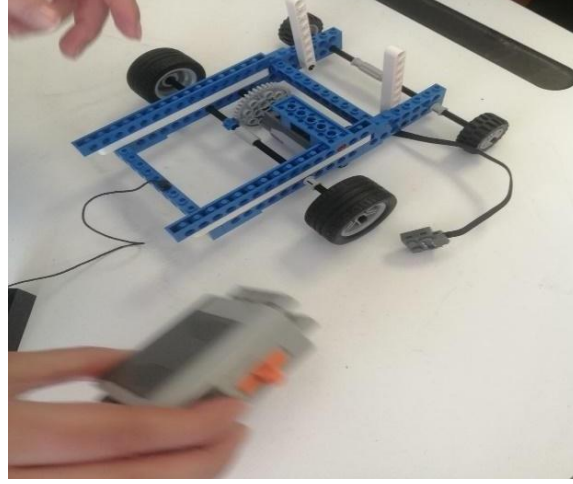
Etkinlik	Kazanımlar
2 Vites	M.7.1.4.1.
	M.7.1.4.2.
	M.7.1.4.3.
	M.7.1.4.4.
	M.7.1.4.5.
	M.7.1.4.6.
Hidrolik Kaldıraç	M.7.1.4.2.
	M.7.1.4.3.
	M.7.1.4.4.
	M.7.1.4.6.
Yaşam Merkezi	M.7.1.4.1.
	M.7.1.4.2.
	M.7.1.4.3.
	M.7.1.4.4.
	M.7.1.4.6.

2 Vites Etkinliği

Bu etkinlikte öğrencilerden bir aracın kalkış, hızlanma ve yavaşlama vitesleri için uygun tasarımları yapmaları beklenmiştir. Bu amaçla öğrencilere ilgili tasarım hedefini açıklayan üç problem sunulmuştur. Öğrencilerin tasarımlarını yapmaları için LEGO Basit ve Motorlu Makineler Seti ile bir model araç, önceden oluşturulmuştur. Problemin çözümü için mühendislik disiplini aktif olarak kullanılan dişli çark sistemlerindeki dişli oranlarından yararlanılmaktadır. Dişli oranları, oran ve orantı gibi matematiksel kavramların mühendislik bağlamında kullanımı için uygun bir bağlam sağlamaktadır. Öğrenciler farklı dişli kombinasyonlarıyla dişli oranının, dolayısıyla hız ve torkun nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Öğrenciler bu gözlemleri yaparken devir ölçer (takometre) kullanma fırsatı da bulmuşlardır. Öğrenciler süreç boyunca gözlemlerini ve yaptıkları işlemleri çalışma kâğıtlarına kaydetmişlerdir. Yinelemeli olarak devam eden test süreci sonunda

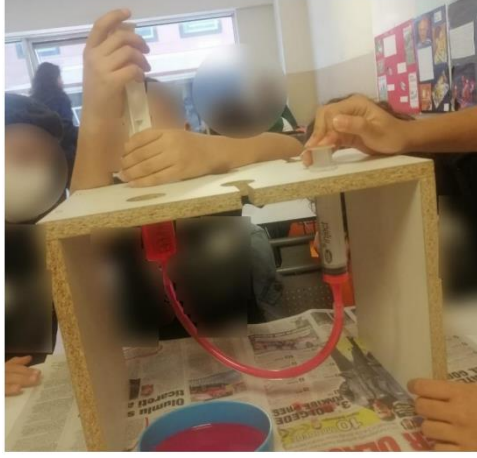
problemlerin çözümleri için en uygun tasarımlara grupça karar verilmiştir. Etkinlik süreciyle ilgili bir görsel Şekil 2'de yer almaktadır.

Şekil 2
2 Vites Etkinliği



Hidrolik Kaldıraç Etkinliği

Bu etkinlikte öğrencilerden eldeki malzemelerle (farklı kesit alanlarına sahip şırıngalar, sıvı ve hortum) bir aracı daha az kuvvet harcayarak kaldırabilecek bir kaldıraç modelini tasarlamaları istenmiştir. Etkinlikte farklı büyüklükte şırıngalar ve ağırlık diskleri kullanılmıştır. Bu etkinlik hidrolik krikolar, hidrolik frenler, bazı tıbbi cihazlar gibi sıvıyla çalışan sistemlerin temelinde olan Pascal Prensibine göre şekillendirilmiştir. Bu nedenle öğrencilerin ilk olarak Pascal Prensibini anlamlandırmaları beklenmiştir. Pascal Prensibi iki oranın eşitliği ve orantılı olma durumlarını kapsamaktadır. Bu amaçla öğrenciler farklı ağırlıklarla uygulanan kuvvetlerin, farklı kesit alanına sahip şırıngalarla nasıl iletildiğini deneyerek keşfetmişlerdir. Yaptıkları denemelerle ilgili verileri etkinlik çalışma kâğıdına kaydetmişler, daha sonra bu verileri tasarımlarının son haline karar vermek için kullanmışlardır. Etkinlik süreciyle ilgili bir görsel Şekil 3'te yer almaktadır.

Şekil 3*Hidrolik Kaldıraç Etkinliği***Yaşam Merkezi Etkinliği**

Bu etkinlikte öğrenciler, kendi tercihleri doğrultusunda bir yaşam merkezi tasarlamışlardır. Mühendislikte de bir tasarımın belirli ölçeklerde çiziminin yapılması ve tasarımların kullanılabilirlik, ekonomiklik yönünden iyileştirilmesi sıklıkla karşılaşılan işlemlerdir. Öğrencilere yeni inşa edilecek bir yaşam merkezinin tasarımını yapacak ekipler arandığını bildiren bir problem sunulmuştur. Her bir grup son halini sunacakları tasarımlarının artıları ve eksilerini göz önünde bulundurdukları bir tasarım süreci yaşamışlardır. Sürece, beyin fırtınası yoluyla her öğrencinin fikirlerini ifade etmelerine imkân tanınarak başlanmıştır. Daha sonra tasarım kâğıdındaki ve gerçekteki alan ölçüleri verilen bir bölge yardımıyla ölçek hesaplanmıştır. Öğrenciler yapıların maliyetleri ve inşaları için geçen süreleri göz önünde bulundurarak tasarımlarının son hallerini, Şekil 4'teki gibi oluşturmuşlardır. Son tasarımın zaman ve maliyetine ulaşmak için doğru ve ters orantıdan yararlanmışlardır. Son tasarımlar kullanılabilirlik, zaman, maliyet, görsellik gibi özellikleri açısından sınıfta tartışılmıştır.

Şekil 4*Yaşam Merkezi Etkinliği*

Uygulama Süreci

Araştırmanın uygulama sürecinde deney grubu katılımcı öğrencilerine araştırmacılar tarafından tasarlanan üç adet MTTME'nin uygulaması yapılmıştır. Uygulamanın başlangıcında deney grubu katılımcıları mühendislik tasarım döngüsü ve MTTME'ler hakkında bilgilendirilmiştir. Kontrol gurubunda ise uygulama süreciyle eş zamanlı olarak mevcut eğitim programına göre rutin eğitim sürecine devam edilmiştir. Kontrol gurubunda süreç, eğitim programına uygun biçimde konu anlatımı ve soru çözümü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Akademik Başarı Testi ön test uygulaması her iki gruba yapıldıktan sonra deney grubuyla uygulama sürecine geçilmiştir. 2 Vites Etkinliği dört oturum, Hidrolik Kaldıraç Etkinliği dört oturum ve Yaşam Merkezi Etkinliği dört oturum olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir oturum 40 dakika sürmüştür. Deney grubundaki etkinlik uygulamaları katılımcılar, her etkinlikte değişken ve rastgele olacak şekilde, dört kişilik gruplara ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Her etkinlik sonrası deney grubu öğrencilerinden yazılı olarak bireysel görüşleri alınmıştır. Uygulama süreci tamamlandıktan sonra deney ve kontrol gruplarına Akademik Başarı Testi son test uygulaması yapılmıştır.

Verilerin Analizi

Bu çalışmadan elde edilen nicel veriler SPSS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan tüm analizlerde 0.05 anlamlılık düzeyi aranmıştır. Uygulama öncesinde deney ve kontrol gruplarının Oran ve Orantı konusundaki başarılarını karşılaştırmak amacıyla öncelikle Akademik Başarı Testi ön test ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. Deney ve kontrol grubundaki öğrenci sayısı 30'un altında olduğundan puan ortalamalarının analizinde, parametrik olmayan testlerden biri olan Mann Whitney-U testi tercih edilmiştir. Sosyal bilimler alanlarında gerçekleşen ilişkisiz ölçümlerin yapıldığı ve katılımcı sayısının az olduğu deneysel çalışmalarda veri analizi için Mann Whitney-U testi tercih edilmektedir (Büyüköztürk, 2020). Analizden edilen sonuçlar deney ve kontrol grupları arasında akademik başarı açısından anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($p>0.05$). MTTME'lerin öğrencilerin akademik başarısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deney ve kontrol gruplarının ön ve son test puanları arasında fark olup olmadığını yorumlamak için parametrik olmayan testlerden Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi kullanılmıştır. Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi farklılıklara dayalı olarak birbiriyle ilişkili veya eşleştirilmiş iki veri setinin analiz edilmesi amacıyla kullanılan bir testtir (Büyüköztürk, 2020). Etkinlik uygulaması sonucu oluşan farklılığın gruplar arasındaki etkisini araştırmak amacıyla Akademik Başarı Testi son test puanları karşılaştırılmıştır. Katılımcı sayılarının 30'dan az olması sebebiyle Akademik Başarı Testi son test puan ortalamalarına Mann Whitney U testi uygulanmıştır.

Araştırmanın Görüş Formundan elde edilen nitel verileri için betimsel analiz uygulanmıştır. Betimsel analiz, teorik yapı ve çerçevesi önceden belirlenmiş bir araştırmanın bulgularının genel eğilimlerinin tanımlanmasına ve sunulmasına olanak tanımaktadır (Strauss ve Corbin, 1990). Bu çalışmada Görüş Formunda yer alan sorulara göre temalar önceden belirlenmiş ve verilen cevaplar doğrultusunda kodlar oluşturularak sonuçlar sunulmuştur. Araştırma sonuçlarının güvenilirliği için bulgular doğrudan alıntılarla desteklenerek sunulmuş, veriler objektif biçimde aktarılmış ve kodlamalar iki farklı araştırmacı tarafından bağımsız olarak yapılarak kodlayıcılar arasında tutarlılık gözlemlenmiştir. Doğrudan alıntılar sunulurken katılımcı gizliliğinin korunması amacıyla katılımcılar Ö1,Ö2,...Ö21 şeklinde kodlanmıştır.

Bulgular

Etkinliklerin Akademik Başarıya Etkisine Yönelik Bulgular

Mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin öğrencilerin Oran ve Orantı konusundaki başarılarına etkisini inceleyebilmek amacıyla, Akademik Başarı Testi deney ve kontrol gruplarına öntest ve sontest olarak uygulanmıştır. Test puanları non-parametrik testlerden Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi ile analiz edilmiştir. Testler sonucunda kontrol grubu ön test- son test puanları arasında anlamlı bir farklılığa rastlanmazken ($Z=-1.414$, $p=0.157$; $p>0.05$) deney grubu ön test-son test puan ortalamaları arasında, son test lehine anlamlı bir farklılık olduğu bulgusuna ulaşılmıştır ($Z=-2.066$, $p=0.039$; $p<0.05$). Analiz sonucunda elde edilen bulgular Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi Sonuçları

Deney Grubu Ön test-Son test	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p
Negatif Sıralar	3	6.00	18.00	-2.066	.039*
Pozitif Sıralar	10	7.30	73.00		
Eşit	8				
Kontrol Grubu Ön test-Son test	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p
Negatif Sıralar	2	4.50	9.00	-1.414	.157**
Pozitif Sıralar	6	4.50	27.00		
Eşit	9				

* $p < .05$

** $p > .05$

Etkinlik uygulaması sonucu oluşan farklılığın gruplar arasındaki etkisini araştırmak amacıyla Akademik Başarı Testi sontest puanları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Test sonucunda deney ve kontrol grubu son test puanları arasında, deney grubu lehine anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür ($U=107.500$ $Z=-$

2.190 $p=0.029$; $p<0.05$). Analiz sonucunda elde edilen bulgular Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Mann Whitney U Testi Sonuçları

Gruplar	N	M	U	Z	p
Deney	21	22.88	107.500	-2.190	.029*
Kontrol	17	19.02			

* $p < .05$

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin Oran ve Orantı konusundaki akademik başarıya olumlu etkisinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca araştırma bulgularından hareketle etkinliklerin uygulanmasıyla gerçekleştirilen öğretim sürecinin, mevcut eğitim programına uygun olarak soru çözümü üzerinden gerçekleştirilene göre daha etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Etkinliklere İlişkin Öğrenci Görüşlerine Yönelik Bulgular

Araştırmada nitel veri toplama aracı olarak kullanılan Görüş Formunda yer alan sorulara göre temalar; “zorlanılan yerler”, “kolay bulunan yerler”, “etkinliğe katılacaklara tavsiyeler”, “etkinliği değerlendirme” ve “etkinliğin matematiğe yönelik görüşlere etkisi” olarak belirlenmiştir. Öğrencilerin sorulara bireysel olarak verdikleri cevaplar doğrultusunda bu temalara ait kodlar elde edilmiştir. Kodlama iki farklı araştırmacı tarafından bağımsız olarak yapılmış ve tutarlılık sağlandığı görülmüştür. Bu bölümde analiz sonuçları ve bu sonuçları destekleyecek şekilde, doğrudan alıntılarla örnekler sunulmuştur.

2 Vites Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri

Mühendislik Tasarım Temelli Matematik Etkinlikleri uygulamasına katılan öğrencilerin 2 Vites Etkinliğine ilişkin görüşleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

2 Vites Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri

Temalar	Kodlar	Frekans
Zorlanılan yerler	LEGO parçalarını takıp çıkarma	7
	Devir ölçer kullanma	6
	Matematiksel işlemleri yapma	5
	Dişli oranı ve viteslerin çalışma mantığını anlama	5
	Tasarım için seçim yapma	3
Kolay bulunan yerler	İstenen tasarımı oluşturma	9
	Matematiksel işlemleri yapma	8
	Tasarımı test etme	4
	Tasarımı farklı koşullara uyarlama	2

Etkinliğe katılacaklara tavsiyeler	Sistemin çalışmasını engellemeyecek şekilde dişlileri bağlama	4
	Dişlileri seçilen kombinasyona göre takma	3
	İşlem kullanımına dikkat etme	3
	Devir ölçerken takometre ve arabayı sabitleme	2
Etkinliği değerlendirme	5 puan	10
	4 puan	7
	3 puan	3
	2 puan	1
Etkinliğin matematiğe yönelik görüşlere etkisi	Etkiledi	13
	Etkilemedi	7

Tablo 5'te görüldüğü üzere, öğrenciler 2 Vites etkinliğinde LEGO parçalarını takip çıkarma (f=7) ve devir ölçer kullanma (f=6), konularında zorlandıklarını ifade etmişlerdir. LEGO ve devir ölçer kullanımında zorlanan öğrencilerin, daha önce bu araçları kullanma deneyimlerinin olmadığını ifade ettikleri görülmüştür. Bu durumla ilgili Ö4: *"Parçaların sabit tutulmasında zorlandım. Daha önce Lego parçalarını yerleştirme deneyimim olmadığı için sorun yaşadım."* şeklinde bir görüş bildirirken Ö7: *"Dönme sayısı ölçtüğümüz aracı ilk defa kullanıyorduk. Ölçme yaparken bazı dikkat edilmesi gereken yerleri sonradan anladık ama başta zor geldi."* ifadelerini kullanmıştır. Bunlara ek olarak öğrenciler çözüm için gerekli matematiksel işlemleri yapmakta (f=5), dişli oranı ve viteslerin çalışma mantığını anlamakta (f=5) ve tasarım için seçim yapmakta (f=3) zorlandıklarını ifade etmişlerdir. Dişli oranı ve viteslerin çalışma mantığını anlamakta zorlanan Ö2: *"Arabanın hızlı veya yavaş olmasıyla dişli oranının ilgisini kafamda oturtmakta zorlandım."*, matematiksel işlemleri yapmakta zorlanan Ö19: *"Matematikte işlem yapmakta hep zorlanırım burada da işler değişmedi"* şeklinde görüşler belirtmişlerdir.

Öğrencilerin 2 Vites etkinliğinde kendilerinden istenen tasarımları oluşturmayı (f=9), Oran-Orantı ile ilgili matematiksel işlemleri yapmayı (f=8), tasarımı test etmeyi (f=4) ve tasarımı farklı koşullara uyarlamayı (f=2) kolay bulduklarını belirttikleri görülmüştür. İstenen tasarımları oluşturmayı kolay bulan Ö7: *"Arabaları tasarlamak için uygun dişlileri seçmek kolaydı çünkü hem sayısal olarak işlem yaptık hem de yaptığımız işlemleri araba üzerinde kontrol ettik. Bu da işi kolaylaştırdı."* ve matematiksel işlemleri yapmayı kolay bulan Ö18: *"Dişli oranını hesaplamakta ve işlemlerde zorluk yaşamadık."* gibi görüşler belirtmişlerdir.

2 Vites etkinliğine katılan öğrenciler bu etkinliğe sonradan katılacak farklı kişiler için sistemin çalışmasını engellemeyecek şekilde dişlileri

bağlama (f=4), dişlileri seçilen kombinasyona göre takma (f=3), işlem kullanımına dikkat etme (f=3) ve devir ölçerken takometre ve arabayı sabitleme (f=2) konularına dikkat etmeleri yönünde tavsiyelerde bulunmuşlardır. Dişlileri seçilen kombinasyona göre takma konusunda tavsiye veren Ö16: *“Dişli oranını kullanırken dikkatli yazsınlar. Biz bir yerini ters yazıp taktığımız için hata yapmıştık...”* ifadelerini kullanmıştır.

2 Vites etkinliğine katılan öğrencilerin çoğunluğu, etkinliği 5 üzerinden 4 puan (f=7) ve 5 puan (f=10) olarak değerlendirmişlerdir. Bu öğrencilerin cevapları incelendiğinde etkinliğin ilgi çekici olduğu, öğrenmeyi zevkli hale getirip kolaylaştırdığı, günlük hayatta var olan durumları anlamlandırmaya yardımcı olduğu, yalnızca işlem yapmaktan ibaret olmayıp tasarım üzerinde denemeler yapmaya imkân verdiği gibi olumlu görüşlere rastlanmıştır. Bununla ilgili olarak Ö15: *“5 puan. Etkinlik sadece matematik işlemleriyle dolu değildi. Denemeler yapmamıza da fırsat veriyordu.”* ve Ö20: *“4 puan verirdim çünkü Legoların küçük olması ve zor takılması haricinde güzel ve ilgi çekici bir etkinlikti.”* şeklinde görüşler bildirmişlerdir. Buna karşın etkinliğin kafa karıştırıcı ve uygulamasının zor olduğu, mühendislikle ilişkili bazı teknik konuları anlatmakta yeterli ve ilgi çekici olmadığı gibi olumsuz görüşler ile 2 puan (f=1) ve 3 puan (f=3) olarak değerlendirenler de mevcuttur. Bu öğrencilerden Ö21: *“2 Puan. Bence dişlilerde nasıl moment oluştuğu gibi şeyleri çok iyi anlatan bir etkinlik değildi.”* ve Ö13: *“3. Kafa karıştırıcıydı ve anlamadım.”* görüşlerini belirtmişlerdir.

Bu etkinliğe katılım sağlayan öğrenciler etkinliğin, matematik dersine yönelik görüşlerini olumlu şekilde etkilediğini (f=13) veya matematiğe yönelik görüşlerini etkilemediğini (f=7) ifade etmişlerdir. Etkinliğin matematik dersine yönelik görüşlerini etkilediğini belirten öğrenciler matematiğin günlük hayatla gerçekten ilişkili olabileceğini, her alanda gerekli olduğunu, derse aktif şekilde katılım sağlayabileceklerini fark ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu öğrencilerden Ö4: *“Evet etkiledi. Matematiğin her alanda gerekli olduğunu bir kez daha görmüş olduk.”* ve Ö14: *“Evet. Nedeni ise bu etkinlikten önce matematik dersinde bu kadar aktif olabileceğimizi düşünmezdim. Bu etkinlik görüşümü değiştirdi.”* şeklinde görüş bildirmişlerdir. Etkinliğin matematiğe yönelik görüşlerini etkilemediğini belirten öğrenciler ise bunun nedenlerini; iki disiplinin de ilgi alanı olmadığı, normal süreçte matematik derslerinin bu tarz etkinliklerle işlenmiyor oluşu ve sınavlara bu şekilde hazırlanılmaması olarak açıklamışlardır. Bununla ilgili Ö5: *“Hayır düşünmüyorum çünkü sınavlara böyle hazırlanmıyoruz.”* şeklinde görüş belirtmiştir.

Hidrolik Kaldıraç Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri

Mühendislik Tasarım Temelli Matematik Etkinlikleri uygulamasına katılan öğrencilerin Hidrolik Kaldıraç Etkinliğine ilişkin görüşleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6*Hidrolik Kaldıraç Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri*

Temalar	Kodlar	Frekans
Zorlanılan yerler	Etkinlik düzeneğini kullanma	10
	Matematiksel işlemleri yapma	4
Kolay bulunan yerler	İstenen tasarımı oluşturma	10
	Matematiksel işlemleri yapma	5
Etkinliğe katılacaklara tavsiyeler	Sıvıyı dikkatli kullanma	6
	Hortumun havasını boşaltma	4
	Şırınga takım ve kullanımına dikkat etme	3
Etkinliği değerlendirme	5 puan	4
	4 puan	6
	3 puan	5
	2 puan	1
	1 puan	1
Etkinliğin matematiğe yönelik görüşlere etkisi	Etkiledi	10
	Etkilemedi	10

Tablo 6'da görüldüğü gibi, Hidrolik Kaldıraç Etkinliğine katılım sağlayan öğrenciler etkinlik düzeneğini kullanma ($f=10$) ve matematiksel işlemleri yapma ($f=4$) ve konularında zorlanmışlardır. Etkinlik düzeneğini kullanmakta zorluk yaşadığını belirten öğrencilerden Ö9: "Şırıngaları deneme yapmak için sıvıyla doldurup sonrasında üstüne ağırlık koymak vs. zorladı." ve Ö11: "Şırıngaları seçtikten sonra ağırlıkları koyup düzeneği ayarlamakta zorlandık." şeklinde görüş bildirmişlerdir.

Öğrenciler bu etkinlikte, seçimler belirlendikten sonra istenen tasarımı oluşturmayı ($f=10$) ve matematiksel işlemleri yapmayı ($f=5$) kolay bulduklarını belirtmişlerdir. Bununla ilgili Ö1'in görüşü: "Kaldıraç sisteminin nasıl çalıştığını anlayıp seçimleri yaptıktan sonra uygun tasarımı yapmak ve işlemleri hesaplamak kolay geldi." şeklindedir.

Hidrolik Kaldıraç Etkinliğine katılan öğrenciler bu etkinliğe sonradan katılacak farklı kişiler için sıvıyı dikkatli kullanma ($f=6$), hortumun havasını boşaltma ($f=4$) ve şırınga takım ve kullanımına dikkat etme yönünde tavsiyelerde bulunmuşlardır. Şırınga takım ve kullanımına dikkat etmeleri konusunda tavsiye veren Ö7: "Şırıngayı suyu çektikten sonra takabilirler. Daha kolay oluyor. Zaten bunun için bölmeler de var." ifadelerini kullanmıştır.

Öğrenciler etkinliği beş üzerinden 1 puan ($f=1$), 2 puan ($f=1$), 3 puan ($f=5$), 4 puan ($f=6$) ve 5 puanla ($f=4$) değerlendirmişlerdir. Etkinliğe 4 ve 5 puan veren öğrenciler ilgi çekici ve farklı olması, kendilerini fazladan işleme boğmaması, tartışma sorularının açıklayıcı olması gibi olumlu özelliklerini ifade etmişlerdir. Tartışma sorularının açıklayıcı olması sebebiyle etkinliği 5 puanla değerlendiren Ö7: "5 veririm. Çünkü

tasarımı yaparken ve bitirdikten sonra sorduğunuz sorular beni aydınlattı.” şeklinde görüş belirtmiştir. Etkinliği 1, 2 ve 3 puanla değerlendiren öğrenciler ise etkinliği sıvı kullanılması, etkinlik materyalinin kullanımının zor olması, bir önceki etkinliğe göre aktif katılım açısından daha zayıf olması gibi yönlerden eleştirmişlerdir. Aktif katılım açısından yetersiz olması sebebiyle etkinliği 3 puanla değerlendiren Ö6: “4 verdim çünkü bizim şırıngaları takıp ağırlık koymak dışında yapacağımız pek bir iş yoktu.” şeklinde görüşünü ifade etmiştir. Öğrenci değerlendirmelerinde dikkat çeken bir bulgu; etkinliğe beş puan veren bir öğrencinin, gerekçesini etkinliğin gerçekçi olması olarak açıklamasına karşın, iki puan veren bir öğrencinin ise gerçekçi bulmadığını ifade etmesidir. Bu öğrenci görüşleri şu şekildedir: Ö9: “2 puan. Araçların böyle kaldırıldığını düşünmüyorum, gerçekçi olmamış”

Ö5: “5 puan. Araç bakımında görmüştüm. Onlar yağ kullanıyordu, biz renkli su kullandık. Bu yüzden etkinliğin gerçekçi olduğunu düşünüyorum.”

Hidrolik Kaldıraç etkinliğine katılan öğrencilerden, etkinliğin matematik dersine yönelik görüşlerini etkilediğini (f=10) ve etkilemediğini (f=10) ifade edenlerin olduğu görülmüştür. Etkinliğin görüşlerini etkilediğini ifade eden öğrenciler; matematik dersinin eğlenceli geçebileceğini ve dersi sevebileceklerini, matematiğin önemli ve günlük hayatın içinde önemli şekilde var olduğunu düşündüklerini ifade etmişlerdir. Etkinliğin görüşlerini etkilemediğini ifade eden öğrenciler ise; ilgi çekici veya zevkli olmadığını, matematikten çok mühendislikle ilişkili olduğunu, matematik kullanmadan da sonuca ulaşılacak bir etkinlik olduğunu düşündüklerini ifade etmişlerdir. Matematik kullanmadan da sonuca ulaşılacak bir etkinlik olması sebebiyle görüşlerini etkilemediğini ifade eden Ö14: “Hayır etkilemedi. Bunları matematik kullanmadan da deneyerek bulurduk” şeklinde görüş belirtmiştir.

Yaşam Merkezi Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri

Mühendislik Tasarım Temelli Matematik Etkinlikleri uygulamasına katılan öğrencilerin Yaşam Merkezi Etkinliğine ilişkin görüşleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7

Yaşam Merkezi Etkinliğine İlişkin Öğrenci Görüşleri

Temalar	Kodlar	Frekans
Zorlanılan yerler	Grupla ortak karar verme	11
	Çizimi tasarım kâğıdına sığdırma	8
	Tasarımı verilen ölçütlere göre düzenleme	6
	Alan ölçüsü ile harita ölçeği	5
	ilişkilendirme	

	Tasarım için seçim yapma	5
	Matematiksel işlemleri yapma	4
Kolay bulunan yerler	Matematiksel işlemleri yapma	5
	Tasarımı düzenleme	5
	Tasarım yapma	5
	Tasarımı sunma	3
	Tartışma	2
Etkinliğe katılacaklara tavsiyeler	Büyük tasarım kâğıdı isteme	7
	Grupla uzlaşmaya özen gösterme	5
	Tasarımı tüm ölçütleri dikkate alarak yapma	2
	Tasarımı önce taslak olarak belirleme	2
Etkinliği değerlendirme	5 puan	10
	4 puan	7
	3 puan	3
Etkinliğin matematiğe yönelik görüşlere etkisi	Etkiledi	13
	Etkilemedi	7

Tablo 7'de görüldüğü gibi, Yaşam Merkezi Etkinliğine katılım sağlayan öğrenciler grupla ortak karar vermekte (f=11), çizimi tasarım kâğıdına sığdırmakta (f=8), tasarımı verilen ölçütlere göre düzenlemekte (f=6), alan ölçüsü ile harita ölçeği ilişkilendirmekte (f=5), tasarım için seçim yapmakta (f=5), ve matematiksel işlemleri yapmakta (f=4) zorlanmışlardır. Tasarımı verilen ölçütlere göre düzenlemekte zorlandığını ifade eden Ö8: *"Tasarımımızın zamandan mı yoksa ücret yönünden mi daha iyi olacağı konusunda anlaşmaya varmakta zorlandık."* şeklinde görüş bildirmiştir. Benzer şekilde Ö13 de tasarımı verilen ölçütlere göre düzenlemekte ve bunun yanı sıra grupla ortak karar vermekte zorlandığını ifade etmiştir. Ö13'ün görüşü şu şekildedir: *"Tasarımın başlangıcında herkesin fikirlerini değerlendirmeye çalışmak ve ortak bir fikre ulaşmak zordu. Ayrıca bizim yaşam merkezimizin kullanışlı olması, güzel görünmesi, kısa sürede yapılması ve az maliyetli olması gerekiyordu."*

Öğrenciler bu etkinlikte matematiksel işlemleri yapmayı (f=5), tasarımı düzenlemeyi (f=5), tasarım yapmayı (f=5), tasarımı sunmayı (f=3) ve tartışmayı (f=2) kolay bulduklarını belirtmişlerdir. Tasarımı sunmayı kolay bulduğunu belirten Ö12, görüşünü: *"Biz grupça tasarımı yaparken her şeye dikkat ettik. Bu yüzden de artılarını ve eksilerini kolayca anlattık. Diğerleriyle karşılaştırabildik."* olarak ifade etmiştir.

Yaşam Merkezi Etkinliğine katılan öğrenciler bu etkinliğe sonradan katılacak farklı kişiler için büyük tasarım kâğıdı isteme (f=7), grupla uzlaşmaya özen gösterme (f=5), tasarımı tüm ölçütleri dikkate alarak yapma (f=2) ve tasarımı önce taslak olarak belirleme (f=2) yönünde tavsiyelerde bulunmuşlardır. Tasarımı önce taslak olarak belirlemeleri konusunda tavsiye veren Ö11: *"Tasarımınızı kâğıda tam olarak"*

çizmeden önce grup arkadaşlarınızla son haline kesin olarak karar verin.” ifadelerini kullanmıştır.

Yaşam Merkezi Etkinliğine katılan öğrenciler bu etkinliği 5 üzerinden 5 puan (f=10), 4 puan (f=7) ve 3 puan (f=3) ile değerlendirmişlerdir. Katılımcıların çoğunluğunu oluşturan ve beş puan vererek değerlendiren öğrenciler bu etkinliği; eğlenceli, güzel vakit geçirmeye yardımcı, özgürlük tanıyan ve yaratıcılığı geliştiren bir etkinlik olarak nitelendirmişlerdir. Etkinliği beş olarak puanlayan Ö14 bununun sebebini: “5 puan veriyorum çünkü etkinlikte yaşam merkezini inşa ederken ormanlık alanı korumamız gerekiyordu. Bu etkinliğin çevreye duyarlı olması çok hoşuma gitti.” Şeklinde açıklayarak çevreye duyarlı bir etkinlik olduğunu ifade etmiştir. Etkinliği üç ve dört puanla değerlendiren diğer öğrenciler ise; grupta ortak çalışmanın zor olduğunu ve bireysel uygulanması gerektiğini, çizim alanının yetersiz ve oran-orantı işlemlerinin uzun olduğunu belirtmişlerdir. Etkinliği üç olarak puanlayan Ö6 bununun sebebini: “3 puan çünkü grupta çalışılması zor bir etkinlik.” Şeklinde açıklamıştır.

Yaşam Merkezi etkinliğine katılım sağlayan öğrencilerin çoğunluğu bu etkinliğin; günlük hayatla ilişkilendirildiği, derse katılma isteğini artırdığı, problem çözmenin zevkli olduğunu düşündüğü ve derslerdeki özgüveni artırdığı için matematik dersine yönelik görüşlerini olumlu etkilediğini (f=13) belirtmişlerdir. Özgüveni artırdığı için matematik dersine yönelik görüşlerini olumlu etkilediğini ifade eden Ö2: “Etkinlikte yapamadığım yerleri grup çalışmasında olduğumuz için arkadaşlarımla yardımlaşarak kolaylıkla yaptık ve etkinliği eksiksiz tamamlamış olduk. Matematikte bir şeyi yapamadığım zaman kendimi özgüvensiz hissediyorum. Burada öyle bir durum yaşamadığım için özgüvenim arttı. O yüzden etkiledi diyebilirim.” Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı öğrenciler ise bu etkinliğin matematik dersine yönelik ön yargılarını yıkmaya yetmediğini ve mühendis olmadığı sürece bir işe yaramayacağını düşündükleri için görüşlerini etkilemediğini (f=7) ifade etmişlerdir. Ön yargılarını yıkmaya yetmediği için görüşlerini etkilemediğini söyleyen Ö12: “Etkinlik matematik hakkındaki ön yargılarımı yıkamadı ve matematik mühendislik hakkında önyargı oluşturdu zaten. Yine de aynı yani.” İfadelerini kullanmıştır.

Sonuç, Tartışma ve Öneriler

Bu çalışmada ortaokul matematik dersine yönelik tasarlanmış mühendislik tasarım etkinliklerinin öğrencilerin akademik başarılarına etkisi ile etkinliklere yönelik görüşleri araştırılmıştır. Etkinlikler tasarlanırken bütünlük STEM eğitimi anlayışı çerçevesinde, matematik ve mühendislik disiplinlerinin yöntem ve içerikleri ilişkilendirilerek süreç oluşturulmuştur. Herhangi bir sınıf düzeyi için planlanan STEM entegrasyon içeriğinin öğrenciler için anlamlı bir

amacının olması ve mümkün olduğunca gerçekçi durumlar içeren deneyimler sunması gerekmektedir (Guzey ve diğerleri, 2016; Moore ve diğerleri, 2014). Ayrıca STEM entegrasyonunun mühendislik tasarımını içerdiği durumlarda, katılım sağlayan öğrencilerin mühendislik tasarım süreci ve temel düzeyde mühendislik deneyimleri hakkında fikir sahibi olmaları konusunda ortak bir kanı vardır (Brophy ve diğerleri, 2008; Fantz ve diğerleri, 2011). Bu nedenle bu araştırma için tasarlanan üç etkinlikte de mühendisliğin ve tasarım sürecinin, matematiksel kavramların sunulması için anlamlı bir bağlam olarak kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin, öğrencilerin Oran ve Orantı konusundaki akademik başarılarını anlamlı şekilde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu olumlu etkinin, mevcut eğitim programına uygun olarak soru çözümü üzerinden yürütülen sürece kıyasla da anlamlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada öğrenciler sınıf ortamında matematiği diğer disiplinlerle bütünleştiren etkinliklere katılmışlardır. Bu sonucun ortaya çıkmasında, katıldıkları etkinliklerde matematiksel bilgiyi doğrudan kullanmayı deneyimlemiş olmalarının etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Forde ve ark (2023), matematiksel içeriğin bir mühendislik problemine entegre edilmesinin, belirli prosedürleri yerine getirerek işlemleri uygulamanın ötesine geçtiğini ve verileri temsil etme, yorumlama ve prototip için uygun malzemeleri seçme konusunda karar verme gibi işlemleri gerçekleştirirken matematiksel akıl yürütme becerilerinin kullanılmasını gerektirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmadan elde edilen bu sonuç, alanyazındaki, mühendislik tasarım temelli eğitimin matematik ve diğer STEM alanlarında başarıya olumlu etkilerinin olduğu yönündeki sonuçlarla paralellik göstermiştir (Coxon ve diğerleri, 2017; Delen ve Sen, 2023; Firdaus ve diğerleri, 2020).

Öğrenci görüşleri incelendiğinde daha önce sınıf ortamı veya dışında kullanmadıkları araçları etkinlikte kullanırken zorlandıkları görülmüştür. Mühendislik tasarım sürecinin öğrencilerin teknolojiyi ve farklı araç gereçleri keşfedip geliştirmelerini gerektirdiği düşünülse de (Morrison, 2006; ITEA 2000), bu durumun öğrenme hedefinin önüne geçerek öğrenciler açısından bilişsel yük oluşturma ihtimali göz ardı edilmemelidir (Chen ve diğerleri, 2022). Bunun önlenmesi için tasarım etkinliklerinde kullanılacak, öğrenciler için yeni olabileceği düşünülen teknoloji ve materyaller öncesinde tanıtılarak öğrencilerin keşfetmeleri sağlanabilir.

Öğrencilerin matematiksel kavram ve işlemleri hedefe ulaşmak için doğal bir araç olarak gördüklerinde anlamsız veya gereksiz bulmadıkları, çoğunlukla zorlanmadıkları görülmüştür. Ayrıca matematiksel kavram ve işlemlerin mühendislik tasarım bağlamında sunulmasının, öğrencileri sorgulamaya yönelttiği gözlemlenmiştir.

Mühendislik tasarım etkinlikleri matematiksel kavram ve sorgulamaları, problem çözme sürecinin doğal unsurları olarak sunma imkânı vermektedir. Böylelikle öğrencilerin bir tasarım oluşturmak için matematiksel kavramları kullanmaları, işlemleri yapmaları ve bazı sorgulama süreçlerini kavramaları gerekmektedir (NRC ve NAE, 2009).

Öğrencilerin etkinliklere yönelik görüşlerinin, genel anlamda olumlu yönde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Öğrenciler mühendislik tasarım temelli matematik etkinliklerinin, alanyazına benzer şekilde (Dickerson ve diğerleri, 2014; Pişkin Tunç ve Gündoğdu, 2022); ilgi çekici, eğlenceli, gerçekçi, merak uyandırıcı, öğrenmeyi kolaylaştırıcı, yaratıcılığı geliştirici olduğundan ve yalnızca işlem yapma odaklı olmadığından bahsetmişlerdir.

Yaşam Merkezi etkinliği üzerine olumlu görüş belirten bir öğrenci, görüşünün sebebini etkinliğin çevreye duyarlı olması olarak açıklamıştır. Alanyazında K-12 düzeyinde mühendislik entegrasyon sürecinde etik ve kültürel boyutlar, devlet politikaları, toplum faydası gibi durumların da gözetilmesi gerektiğine yönelik görüşler vardır (Gunckel ve Tolbert, 2018; Rodriguez ve Shim, 2021). Tasarım etkinlikleri hazırlanırken ve uygulanırken bu durumların göz önünde bulundurulması ölçüt ve sınırlılıkların genişletilebileceği düşünülmektedir.

Etkinliklere yönelik olumsuz görüş belirten öğrencilerin değerlendirmelerinde çoğunlukla ilgisini çekmediği, mühendislik ve matematik disiplinlerinin ikisiyle de ilgilenmediği, işine yaramayacağını düşündüğü gibi ifadeler dikkat çekmektedir. Disiplinlerarası ve bütünleştirilmiş bir eğitim içeriğinin temel hedefleri arasında; öğrencilerin kişisel bilgi, yetenek ve deneyimlerini kullanarak motive olacakları bir öğrenme bağlamı oluşturmak vardır (Moore ve diğerleri, 2014). Bu hedef çerçevesinde okulların, çeşitli disiplinler arasında entegrasyonu sağlayacak ortak veya paralel konular belirleyerek bir öğretim programı benimseyebileceği; bunun sonucunda da öğrencilerin ilgisini çekebilecek bir içerik bulmasına yardımcı olunabileceği düşünülmektedir. Nitekim alanyazında bütünleştirme türü ve derecesinin, ihtiyaçlara göre belirlenip geliştirilebileceğine yönelik ortak bir görüş hâkimdir (Bybee, 2013; Fogarty, 1991; Jacobs, 1989).

Bu araştırma için tasarlanan etkinliklerde tasarım döngüsü, matematiksel kavramların gerçek dünya deneyimleriyle öğrenimi ve kullanımı için bir köprü oluşturmuştur. Li ve ark. (2019) tasarımın yalnızca mühendislik, mimarlık, teknoloji gibi alanlara özgü olmadığını, fen ve matematikte de tasarım yapılabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle özellikle matematiksel kavram ve becerilerin tasarım becerileriyle birlikte geliştirilebileceği tasarım etkinliklerinin artırılması gerektiği düşünülmektedir. Bu araştırma için tasarlanan etkinlikler

yedinci sınıf Oran ve Orantı konusunun kazanımlarını desteklemek için mühendislik tasarım sürecini bağlam olarak kullanmıştır. Etkinliklerin bu kazanımların tamamını kapsayabilmesi amacıyla tasarım süreci malzeme, zaman, uygulanan adımlar gibi bazı sınırlamaların önceden planlanmasını gerektirmiştir. Gelecek araştırmalarda matematiksel beceriler ön plana alınarak öğrencilere daha fazla yaratıcılık alanı tanıyan etkinlikler geliştirilebilir. Öğrencilerin mühendislik tasarım döngüsünü rehber aldıkları bir tasarım sürecini nasıl gerçekleştirdikleri daha ayrıntılı şekilde incelenebilir. Bu araştırmada kullanılan etkinlikler, katılımcı sayısı ve uygulama süresi artırılarak yeniden uygulanabilir. Ayrıca bu araştırmada kullanılan etkinliklerin kalıcılık açısından etkilerinin araştırılabileceği düşünülmektedir.

Etik Kurul İzin Bilgisi: *Bu araştırma, Hacettepe Üniversitesi Etik Kurulunun 11/02/2022 tarihli E-51944218-300-00002032584 sayılı kararı ile alınan izinle yürütülmüştür.*

Yazar Çıkar Çatışması Bilgisi: *Yazarların beyan edeceği bir çıkar çatışması yoktur.*

Yazar Katkısı: *Araştırma ikinci yazarın danışmanlığında, birinci yazar tarafından yürütülen yüksek lisans tezinden üretilmiştir.*

Kaynakça

- Alfieri, L., Higashi, R., Shoop, R., & Schunn, C. D. (2015). Case studies of a robot-based game to shape interests and hone proportional reasoning skills. *International Journal of STEM Education*, 2, Article 4. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0017-9>
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379.
- Baykul, Y. (2021). *Ortaokulda matematik öğretimi (5-8. Sınıflar)*. (4. Baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.
- Berland, L., Steingut, R., & Ko, P. (2014). High school student perceptions of the utility of the engineering design process: Creating opportunities to engage in engineering practices and apply math and science content. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 705- 720. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9498-4>
- Berry, R. Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C. D., Starkweather, G., & Aylor, J. (2010). Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(2), 167-172.
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387.

- Büyüköztürk, Ş. (2020). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı: İstatistik, araştırma deseni Spss uygulamaları ve yorum* (28. Baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.
- Bybee R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995):996.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press.
- Capobianco, B. M., DeLisi, J., & Radloff, J. (2018). Characterizing elementary teachers' enactment of high-leverage practices through engineering design-based science instruction. *Science Education*, 102(2), 342-376.
- Channell, D. F. (2009). The emergence of the engineering sciences: An historical analysis. In *Philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 117-154).
- Chen, Y. C., Chang, Y. S., & Chuang, M. J. (2022). Virtual reality application influences cognitive load-mediated creativity components and creative performance in engineering design. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 6-18.
- Coxon, S. V., Dohrman, R. L., & Nadler, D. R. (2018). Children using robotics for engineering, science, technology, and math (CREST-M): The development and evaluation of an engaging math curriculum. *Roeper Review*, 40(2), 86-96. <https://doi.org/10.1080/02783193.2018.1434711>
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching & learning matrix. *Journal of Engineering Education-Washington*, 101(4), 738. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Delen, I., & Sen, S. (2023). Effect of design-based learning on achievement in K-12 education: A meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(2), 330-356. <https://doi.org/10.1002/tea.21800>
- Daugherty, M. K., & Carter, V. (2018). The nature of interdisciplinary STEM education. In M. J. de Vries (Ed.), *Handbook of technology education* (pp. 159-171). Springer.
- Dickerson, D. L., Eckhoff, A., Stewart, C. O., Chappell, S., & Hathcock, S. (2014). The examination of a pullout STEM program for urban upper elementary students. *Research in Science Education*, 44(3), 483-506.
- Drake, S. M. & Savage, M. F. (2016). Negotiating accountability and integrated curriculum in a global context. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 15(6).
- English, L. D. (2016). Advancing mathematics education research within a STEM environment. *Research in mathematics education in Australasia 2012-2015*, 353-371.
- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 107-129. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x>

- Fantz, T. D., De Miranda, M. A., & Siller, T. J. (2011). Knowing what engineering and technology teachers need to know: An analysis of pre-service teachers engineering design problems. *International Journal of Technology & Design Education*, 21(3), 307-320.
- Firdaus, A. R., Wardani, D. S., Altaftazani, D. H., Kelana, J. B., & Rahayu, G. D. S. (2020). Mathematics learning in elementary school through engineering design process method with STEM approach. *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1657, No. 1, p. 012044)*. IOP Publishing.
- Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What does mathematics have to offer?. *Mathematics Education Research Group of Australasia*.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61– 65.
- Forde, E. N., Robinson, L., Ellis, J. A., & Dare, E. A. (2023). Investigating the presence of mathematics and the levels of cognitively demanding mathematical tasks in integrated STEM units. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 5(1), 3.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education (8th ed.)*. McGraw-Hill Companies.
- Frodeman, R., Klein, J. T., & Pacheco, R. C. D. S. (Eds.). (2010). *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. Oxford University Press.
- Gunckel, K. L., & Tolbert, S. (2018). The imperative to move toward a dimension of care in engineering education. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(7), 938-961.
- Guzey, S. S., Moore, T. J., & Harwell, M. (2016). Building up STEM: An analysis of teacher-developed engineering design-based STEM integration curricular materials. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 6(1), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1129>
- Guler, G., Sen, C., Ay, Z. S., & Ciltas, A. (2019). Engineering skills that emerge during Model-Eliciting Activities (MEAs) based on 3D modeling done with mathematics pre-service teachers. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 7(3), 251-270
- Hathcock, S.J., Dickerson, D.L., Eckhoff, A., & Katsioloudis, P. (2015). Scaffolding for creative product possibilities in a design-based STEM activity. *Research in Science Education*, 45(5), 727-748. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9437-7>
- Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. *Publications*. Paper 165.
- International Technology Education Association [ITEA] (2000). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: International Technology Education Association.
- Jacobs, H. H. (1989). *Interdisciplinary curriculum: Design and implementation*. Association for Supervision and Curriculum Development, VA 22314.

- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). Design and design thinking in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104.
- Lie, R., Selcen Guzey, S., & Moore, T. J. (2019). Implementing engineering in diverse upper elementary and middle school science classrooms: Student learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology*, 28(2), 104-117. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9751-3>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The role of mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM*, 51(6), 869-884.
- Maiorca, C. (2016). *A case study: Students' mathematics-related beliefs from integrated STEM model-eliciting activities* (Doctoral dissertation). University of Nevada, Las Vegas.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2018). *Matematik dersi (ilkokul ve ortaokul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar) öğretim programı*. Talim Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (pp. 35-60). Purdue University Press.
- Morrison, J. (2006). Attributes of STEM education: The student, the school, the classroom. *TIES (Teaching Institute for Excellence in STEM)*, 20, 2-7.
- Mulder, M. (2012). Interdisciplinarity and education: towards principles of pedagogical practice. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 18(5), 437-442.
- National Academy of Engineering and National Research Council [NAE and NRC]. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies Press.
- National Research Council [NRC] & National Academy of Engineering [NAE]. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. (L. Katehi, G. Pearson, & M. Feder, Eds.). National Academies Press.
- Newell, W. H., Wentworth, J., & Sebberson, D. (2001). A theory of interdisciplinary studies. *Issues in Interdisciplinary Studies*.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Park, D. Y., Park, M. H., & Bates, A. B. (2018). Exploring young children's understanding about the concept of volume through engineering design in a STEM activity: A case study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 275-294.
- Pişkin Tunç, M. & Gündoğdu, N. S. (2022). Middle school students' views about STEM activities used in teaching ratio and proportion. *Bartın University Journal of Faculty of Education*, 11 (3), 647-662.

- Pugalenthi, P. (2019). *Integration of engineering in a middle grade mathematics classroom: A conceptual framework for science, technology, engineering and mathematics (STEM) integration* (Doctoral dissertation). The University of North Carolina at Charlotte.
- Rodriguez, A. J., & Shim, S. W. (2021). Addressing critical cross-cultural issues in elementary STEM education research and practice: a critical review essay of engineering in elementary STEM education. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 1-17.
- Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H. H., & Park, M. S. (2012). Is adding the e enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School science and mathematics*, 112(1), 31-44. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00112.x>
- Stohlmann, M., Maiorca, C., & DeVaul, L. (2017). Elementary teachers' engineering design activities from a state without engineering standards. *Science Educator*, 26(1), 48-59.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research (Vol. 15)*. CA: Sage
- Tourniaire, F., & Pulos, S. (1985). Proportional reasoning: A review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 181-204.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Wendell, K. B., Connolly, K. G., Wright, C. G., Jarvin, L., Rogers, C., Barnett, M., & Marulcu, I. (2010). Incorporating engineering design into elementary school science curricula. In *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Louisville, KY*.
- Wendell, K. B., & Rogers, C. B. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513-540. <https://doi.org/10.1002/jee.20026>



The Effect of Engineering Design-Based Mathematics Activities on Academic Achievement of Secondary School Students and Student Views on These Activities *

Zeynep Gül DERTLİ¹, Bahadır YILDIZ²

Abstract

The integration of science, technology, engineering and mathematics (STEM) is becoming increasingly important in both national and international literature. Engineering is often favored in the integration of STEM disciplines because it is a discipline that bridges other fields and can put abstract concepts into a real-world context. The purpose of this study is to examine the effects of engineering design activities developed for middle school math classrooms on students' academic achievement and students' views of the activities. To this end, three construction activities on ratio and proportion were developed in seventh grade. The study was conducted in a quasi-experimental design with a pretest-posttest control group. A total of 38 seventh-grade students, 21 experimental and 17 control students, took part in the study. As a result of the study, it was found that math activities based on constructions significantly increased students' performance in ratio and proportion. It was also found that students' views of the activities were generally positive. Students indicated that the construction-based math activities were interesting, fun, realistic, engaging, facilitated learning, encouraged creativity, and did not focus solely on performing operations.

Article Details

Research Article

Received

12/04/2023

Accepted

12/03/2024

Published

15/05/2024

Key words

Engineering design process, mathematical activity, STEM education

* This paper is formed in line with the master's thesis of the first author under the supervision of the second author

¹ Hacettepe University, <https://orcid.org/0000-0002-4750-5343>, zdertli@hacettepe.edu.tr

² Hacettepe University, <https://orcid.org/0000-0003-4816-3071>, bahadir@bahadiryildiz.net

Suggested Citation:

Dertli, Z. G., & Yıldız, B. (2024). The effect of engineering design-based mathematics activities on academic achievement of secondary school students and student views on these activities. *Pamukkale University Journal of Education [PUJE]*, 61, 362-388. <https://doi.org/10.9779/pauefd.1282019>

Introduction

The knowledge that is available for processing and use in the real world has no clear boundaries; it is complex and interdisciplinary. It must therefore be viewed and evaluated as a whole (Frodeman et al., 2010; Newell et al., 2001). In order for individuals to make sense of the procedural knowledge they acquire in school in the context of the real world, this integrity should not be ignored. In order to grow individuals who can adapt to the rapidly changing world and develop creative solutions to the problems they face, the idea of inclusive education is becoming increasingly important (Daugherty & Carter 2018; Mulder, 2012). Today, it is evident that most countries that are considered successful in education use integrated, interdisciplinary education programs (Drake & Savage, 2016). Efforts to integrate the disciplines of science, technology, engineering, and mathematics (STEM), along with their variations, have also gained momentum within this context. Integrated STEM education exemplifies interdisciplinary education (Wang et al., 2011). This approach offers students authentic learning environments by leveraging the interrelationships among STEM disciplines and aims to impart knowledge and skills both within and across these disciplines (National Academy of Engineering and National Research Council [NAE & NRC], 2014). These four disciplines, each offering insights to comprehend natural phenomena and apply this understanding to enhance human life, are ideally taught using an interdisciplinary approach that highlights their interconnectedness (NRC & NAE, 2009). Roehrig et al. (2012). STEM disciplines are often introduced in classroom practices by integrating the key objectives of various disciplines into a singular curriculum, or by emphasizing one discipline and utilizing others as contextual frameworks to enhance its relevance. In a similar vein, Bybee (2013) delineated diverse models in which science or mathematics content is reinforced by technology and/or engineering contexts. These models include collaborative and coordinated teaching across different disciplines, equal emphasis on the content and concepts of each discipline, and the frequent application of a transdisciplinary approach for addressing complex global issues.

When examining studies on the integration of STEM disciplines, it becomes evident that the engineering design process is a commonly preferred methodology (Guzey et al., 2016; Lie et al., 2019). This preference stems from the inherent nature of engineering as a discipline that connects other fields (Moore et al., 2014). Engineers utilize their knowledge in science, technology, and mathematics to address real-world problems (Channel, 2009). From the standpoint of mathematics education, a reciprocal relationship and a robust linkage between engineering and mathematics can be observed, particularly in terms of methods and content (Berry et al., 2010; Moore et al., 2014;

NRC & NAE, 2009). Engineering and mathematics mutually reinforce each other by providing meaningful contexts for abstract concepts (Berry et al., 2010; NRC & NAE, 2009).

Engineering Design Process

The engineering design process is a systematic method for problem-solving and product development. In K-12 education, when incorporating the engineering discipline, it is imperative to include the engineering design process (Fantz et al., 2011; NRC & NAE, 2009). A review of the literature defining the engineering design process (Atman et al., 2007; Hynes et al., 2014; NGSS Lead States, 2013; International Technology Education Association [ITEA], 2000) reveals that while universally accepted definitions of the process are not present, certain typical characteristics are evident. These characteristics include a cyclical, as opposed to linear, progression in the outlined design processes. Moreover, the engineering design process is approached from problem-based, process, and product-oriented perspectives (Capobianco et al., 2018). An engineering design process encompasses defining a specific problem, exploring potential solutions, testing these solutions, conducting repeat tests if necessary, and ultimately selecting the most suitable solution (Berland et al., 2014; Hynes et al., 2011; NGSS, 2013; Wendell et al., 2010).

The concept of immersing K-12 students in design experiences is increasingly gaining global significance. Consequently, it is essential for educators to actively collaborate in cultivating design skills and fostering learning through design-oriented activities (Crismond & Adams, 2012). Involving students in the engineering design process can bolster meaningful learning, as it offers them opportunities to experiment with potential future roles as designers or engineers. This involvement also encourages them to adopt an engineer-like, inquisitive approach to problem-solving (Crismond & Adams, 2012; Moore et al., 2014).

The literature reveals a growing advocacy for utilizing engineering design as an integrative mechanism within STEM education. Analysis of relevant studies indicates that practices integrating engineering design with other STEM disciplines positively influence students' STEM performance and achievement (Fan & Yu, 2017; Stohlmann et al., 2017; Wendell & Rogers, 2014). Furthermore, these practices equip students to tackle real-life interdisciplinary problems through questioning, researching, collaborating, and actively applying conceptual knowledge from areas like mathematics and science (Brophy et al., 2008; Hathcock et al., 2015).

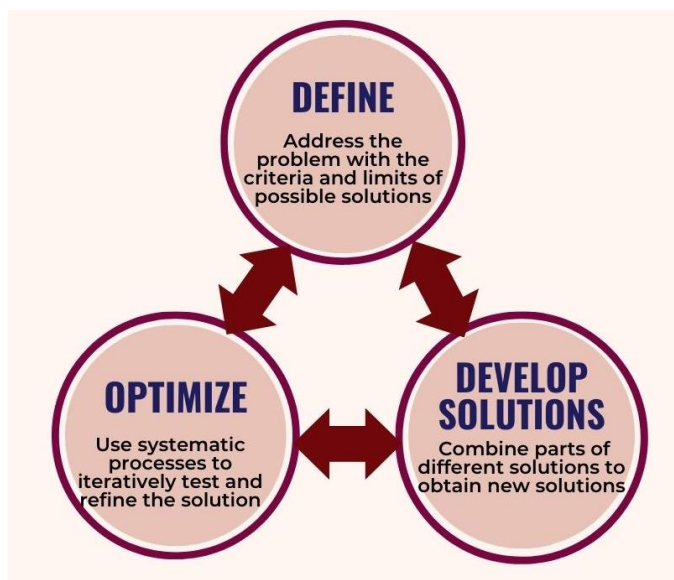
The literature includes research where the engineering design process is applied in conjunction with mathematics education. These studies

demonstrate that mathematics can serve as a tool for solving engineering challenges, or conversely, engineering problems can provide a context for students to learn mathematical concepts (Fitzallen, 2015). Research indicates that engineering design not only aids in understanding mathematical concepts such as volume, angles, and three-dimensional objects (Park et al., 2018; Pugalenthil, 2019) but also enhances the development of mathematical thinking, problem-solving skills, and engineering-specific competencies (Alfieri et al., 2015; Guler et al., 2019; Maiorca, 2016). However, despite its benefits, the integration of engineering into mathematics education has not progressed as rapidly as in other STEM disciplines, highlighting a need for expanded research in this area (English, 2016; Forde et al., 2023; Maass et al., 2019).

In this study, three mathematics activities were developed and implemented, adhering to the engineering design process tailored for middle school as outlined in the Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013), depicted in Figure 1. This design cycle mandates students to tackle a problem by assessing the constraints of the problem itself and its potential solutions. Within these boundaries, students are encouraged to evaluate each possible solution and integrate various solutions. They are anticipated to persistently test, refine, and optimize these solutions to arrive at what they consider the most appropriate resolution.

Figure 1

Engineering Design Process (NGSS, 2013)



The designed activities for implementation encompass the objectives of the seventh-grade Ratio and Proportion topic, specifically targeting the ability to identify and solve problems effectively. These objectives, as stated in the Mathematics

Curriculum by the Ministry of National Education (2018, pp. 66-67), are as follows:

M.7.1.4.1. Determines the value one multiplicity will take when the other in the ratio is 1.

M.7.1.4.2. Finds one of two multiplicities when given the other, in a proportional relationship.

M.7.1.4.3. Decides whether two multiplicities are proportional or not by examining real-life situations.

M.7.1.4.4. Expresses the relationship between two directly proportional multiplicities.

M.7.1.4.5. Determines and interprets the constant of proportionality of two directly proportional multiplicities.

M.7.1.4.6. Decides whether two multiplicities are inversely proportional by examining real-life situations.

M.7.1.4.7. Solves problems related to direct and inverse proportion.

Ratio and proportion are concepts deeply embedded in daily life, extensively utilized in scientific calculations, and crucial for explaining phenomena in various positive sciences (Baykul, 2021; Tourniaire & Pulos, 1985). Therefore, the activities in this study were meticulously crafted to ensure effective comprehension and application of these concepts.

This study aims to evaluate the impact of engineering design activities, specifically tailored for middle school mathematics courses, on students' academic achievement and their perspectives regarding these activities.

Method

Research Model

This research is an experimental study augmented with qualitative data. The pre-test post-test control group design, a type of quasi-experimental approach, was employed. In this methodology, random assignment is not utilized; instead, groups are matched based on specific variables, such as academic achievement levels in this study (Fraenkel et al., 2012). Ethical approval for this research was granted by the Hacettepe University Ethics Commission, as indicated in their decision dated 11.02.2022, bearing the reference number E-51944218-300-00002032584.

Study Group

The study group consisted of 38 middle school seventh-grade students. Two different seventh-grade classes from a private school were selected to implement the activities involved in the study. To avoid potential negative impacts resulting from the loss of subjects, the group comprising 21 participants from these classes was established as

the experimental group, while the other 17 students were placed in the control group. According to the Mann Whitney U test results, which were applied to the pre-test averages of the Academic Achievement Test prepared by the researchers, there was no significant difference in Ratio and Proportion achievement between the experimental and control groups ($U=169.500$, $Z=-.276$, $p=0.783$; $p>0.05$).

Data Collection Tools

The data collection tools of the study consisted of an Academic Achievement Test for the topic of Ratio and Proportion and View Form.

Academic Achievement Test

The Academic Achievement Test was constructed using questions from the MoNE, PISA, and TIMSS exams, which align with the seventh-grade Ratio and Proportion curriculum gains (Ministry of National Education [MoNE], 2018). The selection of these questions, already tested for validity and reliability, was intended to enhance the test's own validity and reliability. For the content validity of the test, the input of two experts was sought. The test was finalized based on their opinions and feedback. The KR-20 reliability coefficient of the test was calculated to be .70. Details regarding the acquisitions associated with each of the 10 multiple-choice questions in the Academic Achievement Test are presented in Table 1.

Table 1

Outcomes Related to Academic Achievement Test Questions

Outcomes	Question Number
M.7.1.4.1.	1
M.7.1.4.2.	2,3
M.7.1.4.3.	3,4
M.7.1.4.4.	4,6,10
M.7.1.4.5.	1,4
M.7.1.4.6.	8,9
M.7.1.4.7.	5,7,8,9

View Form

The View Form was utilized to gather the participant students' views on the activities. Developed by the researchers, the View Form included inquiries about the activities and the implementation process, such as:

"What were the parts of the activity that were difficult for you?"

"What were the parts of the activity that were easy for you?"

"If you were to evaluate the activity out of 5 points, how many points would you give? Why?"

"What advice would you give to different students who will participate in the same activity?"

"Do you think that the engineering design activity affected your view about Mathematics course topics? If yes, explain how it changed your view about this subject. If your answer is no, explain why."

Students' individual views were collected in writing after each activity via the View Form. To ensure the validity of the View Form, feedback was obtained from a faculty member and a mathematics teacher. Based on this feedback, modifications were made to ensure the questions' relevance and clarity for the intended purpose, resulting in the final version of the form.

Engineering Design Based Mathematics Activities (EDBMA)

The three activities devised by the researchers were structured around the engineering design process as defined by the NGSS (2013). In the design process of these activities, emphasis was placed on incorporating a meaningful context for engineering design, and ensuring alignment with the objectives of the seventh-grade Ratio and Proportion topic. Table 2 details the objectives addressed by these activities.

Table 2

Engineering Design Activities and Related Outcomes

Activity Name	Outcomes
2 Gears	M.7.1.4.1. M.7.1.4.2. M.7.1.4.3. M.7.1.4.4. M.7.1.4.5. M.7.1.4.6.
Hydraulic Leverage	M.7.1.4.2. M.7.1.4.3. M.7.1.4.4. M.7.1.4.6.
Life Center	M.7.1.4.1. M.7.1.4.2. M.7.1.4.3. M.7.1.4.4. M.7.1.4.6.

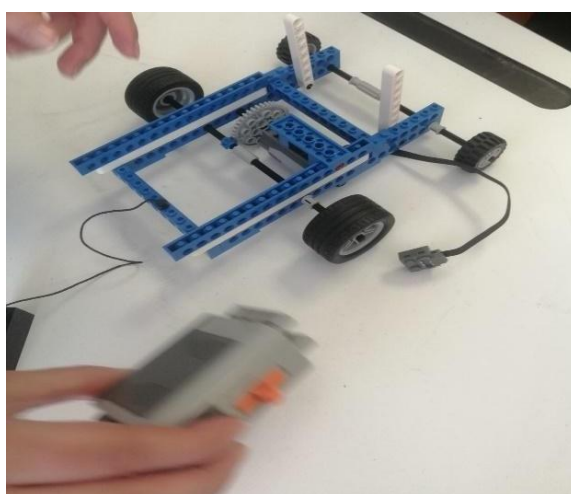
2 Gears Activity

In this activity, students were tasked with creating suitable designs for the starting, acceleration, and deceleration gears of a vehicle. To this end, they were presented with three problems that outlined the specific design objectives. A model vehicle, constructed using the LEGO Simple and Motorized Machines Set, was provided for students to apply

their designs. To solve the problem, students employed gear ratios, a concept widely used in engineering. Gear ratios offered a fitting context to apply mathematical concepts such as ratio and proportion within an engineering framework. Students observed changes in gear ratio, speed, and torque with varying gear combinations. Additionally, they had the opportunity to use a tachometer during these observations. Throughout the activity, students documented their observations and steps on worksheets. After a series of iterative tests, the groups determined the most suitable designs for problem solutions. A visual representation of the activity process is provided in Figure 2.

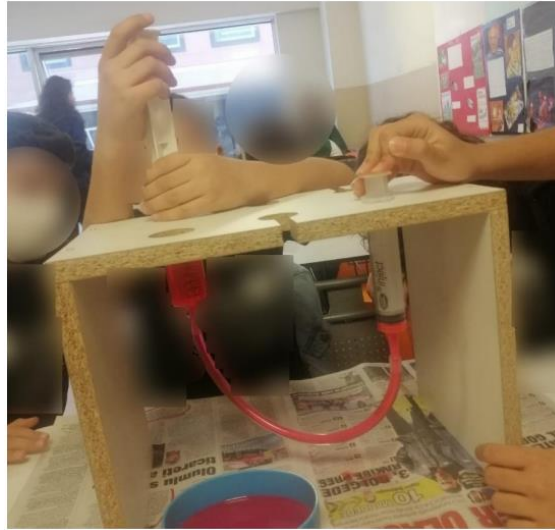
Figure 2

2 Gears Activity



Hydraulic Leverage Activity

In this activity, students were challenged to construct a lever model capable of lifting a vehicle with minimal force, using available materials such as syringes with varying cross-sectional areas, liquid, and hose. The activity employed different-sized syringes and weight disks. It was conceptualized around Pascal's Principle, a fundamental concept in fluid-powered systems like hydraulic jacks, hydraulic brakes, and certain medical devices. Consequently, the initial task for students was to comprehend Pascal's Principle, which involves understanding the equality and proportionality of two ratios. Students explored how forces, applied using different weights, are transmitted through syringes of diverse cross-sectional areas. They documented the experimental data on the activity worksheet, which then informed their final design decision. Figure 3 provides a visual depiction of the activity process.

Figure 3*Hydraulic Leverage Activity***Life Center Activity**

In this activity, students were tasked with designing a living center based on their individual preferences. This task mirrors common engineering processes, such as scaling designs accurately and optimizing them for usability and cost-effectiveness. The students were presented with a challenge to design a new living center in teams. The design process involved evaluating the advantages and disadvantages of their final designs. The activity commenced with each student sharing their ideas through brainstorming. Next, the scale of the design was determined using the area measurements provided on the design sheet and corresponding real-world dimensions. Students then considered factors like the cost and construction time of the structures to finalize their designs, as illustrated in Figure 4. They employed direct and inverse proportions to calculate the time and cost implications of their final designs. Ultimately, the final designs were reviewed and discussed by the class, focusing on aspects such as usability, time, cost, and visual appeal.

Figure 4*Life Center Activity*

Implementation Process

During the research implementation, three Engineering Design Based Mathematics Activities (EDBMA) designed by the researchers were administered to the experimental group's participant students. Initially, participants in the experimental group were briefed about the engineering design process and EDBMAs. Concurrently, the control group continued with the standard education process as per the existing curriculum, involving lecturing and problem-solving exercises. Both groups were administered the Academic Achievement Test pre-test before beginning the implementation with the experimental group. The 2 Gears Activity, Hydraulic Leverage Activity, and Life Center Activity were each conducted over four sessions, with each session lasting 40 minutes. In the experimental group, activity implementations were conducted in groups of four, with these groups being randomly and variably composed for each activity. Following each activity, individual written feedback was collected from the students in the experimental group.

Upon completion of the implementation phase, the post-test of the Academic Achievement Test was administered to both the experimental and control groups.

Data Analysis

The quantitative data obtained from this study were analyzed using SPSS software. A significance level of 0.05 was sought in all analyses. Before the application, to compare the achievement of the experimental and control groups in the subject of Ratio and Proportion, the pre-test averages of the Academic Achievement Test were examined to determine if there was a significant difference. Since the number of students in the experimental and control groups was fewer than 30, the Mann-Whitney U test, one of the nonparametric tests, was used to analyze the mean scores. The Mann-Whitney U test is preferred for data analysis in experimental studies in social sciences where measurements are unrelated, and the number of participants is small (Büyüköztürk, 2020). The results of the analysis indicated that there was no significant difference between the experimental and control groups in terms of academic achievement ($p > 0.05$). To examine the effect of EDBMAs on students' academic achievement, the Wilcoxon Signed Ranks Test, one of the nonparametric tests, was employed to assess the differences between the pre- and post-test scores of the experimental and control groups. The Wilcoxon Signed Rank Test is used to analyze two related or paired data sets based on their differences (Büyüköztürk, 2020). To investigate the impact of the activity implementation on the differences between the groups, the Academic Achievement Test post-test scores were compared. Since the number of participants was fewer

than 30, the Mann-Whitney U test was applied to the Academic Achievement Test post-test mean scores.

Descriptive analysis was applied to the qualitative data obtained from the View Form. Descriptive analysis facilitates the identification and presentation of general trends in the findings of research with a predetermined theoretical structure and framework (Strauss & Corbin, 1990). In this study, themes were predetermined based on the questions in the View Form, and the results were presented by creating codes aligned with the given answers. To ensure the reliability of the research results, the findings were supported with direct quotations. The data were transferred objectively, and the coding was independently conducted by two different researchers, with observed consistency between the coders. In presenting direct quotations, participants were coded as S1, S2, ... S21 to protect participant confidentiality.

Findings

Findings on the Effect of Activities on Academic Achievement

To examine the effect of engineering design-based mathematics activities on students' achievement in Ratio and Proportion, the Academic Achievement Test was administered to both the experimental and control groups as pretests and posttests. Test scores were analyzed using the Wilcoxon Signed Rank Test, one of the non-parametric tests. The test results revealed no significant difference between the pretest and posttest scores of the control group ($Z = -1.414$, $p = 0.157$; $p > 0.05$). However, a significant difference was found between the pretest and posttest mean scores of the experimental group, favoring the posttest ($Z = -2.066$, $p = 0.039$; $p < 0.05$). The findings from this analysis are presented in Table 3.

Table 3

Wilcoxon Signed Rank Test Results

Experimental Group Pre-test-Post-test	N	Mean Rank	Sum of Ranks	Z	p
Negative Ranks	3	6.00	18.00		
Positive Ranks	10	7.30	73.00	-2.066	.039*
Ties	8				
Control Group Pre-test-Post-test	N	Mean Rank	Sum of Ranks	Z	p
Negative Queues	2	4.50	9.00		
Positive Rows	6	4.50	27.00	-1.414	.157**
Ties	9				

* $p < .05$

** $p > .05$

To investigate the effect of the difference between the groups resulting from the activity implementation, the Academic Achievement Test posttest scores were compared. The Mann-Whitney U test was employed for this purpose. The test results indicated a significant difference between the posttest scores of the experimental and control groups, favoring the experimental group ($U=107.500$, $Z=-2.190$, $p=0.029$; $p < 0.05$). The findings from this analysis are presented in Table 4.

Table 4*Mann Whitney U Test Results*

Groups	N	M	U	Z	p
Experiment	21	22.88	107.500	-2.190	.029*
Control	17	19.02			

* $p < .05$

The findings of the study indicate that engineering design-based mathematics activities positively impact academic achievement in the topic of Ratio and Proportion. Furthermore, based on the research findings, it can be asserted that the teaching process implemented through these activities is more effective than that conducted solely through problem-solving in line with the existing educational program.

Findings Regarding Student Views on Activities

According to the questions in the View Form, which served as a qualitative data collection tool in the study, the themes were identified as "difficult aspects," "easy aspects," "recommendations for future participants," "evaluation of the activity," and "the impact of the activity on attitudes towards mathematics." Codes corresponding to these themes were derived from the students' individual responses to the questions. The coding was conducted independently by two different researchers, and consistency was observed. This section presents the results of the analysis, including examples with direct quotations to substantiate these findings.

Student Views on the 2 Gears Activity

The views of students who participated in the Engineering Design-Based Mathematics Activities, specifically regarding the 2 Gears Activity, are presented in Table 5.

Table 5*Student Views on the 2 Gears Activity*

Themes	Codes	Frequency
Difficult places	Attaching and removing LEGO bricks	7
	Using a tachometer	6
	Doing mathematical operations	5
	Understanding the gear ratio and the working logic of gears	5
	Making a choice for design	3
Easy to find places	Create the desired design	9
	Doing mathematical operations	8
	Testing the design	4
	Adapt the design to different conditions	2
Advice for those attending the event	Connecting the gears so as not to interfere with the operation of the system	4
	Installing gears according to the selected combination	3
	Attention to process utilization	3
	Stabilizing the tachometer and car when measuring revs	2
Evaluating the activity	5 points	10
	4 points	7
	3 points	3
	2 points	1
The effect of the activity on views towards mathematics	Affected	13
	Did not affect	7

Table 5 indicates that students participating in the 2 Gears activity encountered various challenges. The primary difficulties included handling LEGO pieces (reported by 7 students) and using tachometers (reported by 6 students). A significant factor contributing to these challenges was the lack of prior experience with these tools. S4 commented on the difficulty of keeping LEGO pieces stationary due to inexperience: "I had difficulty in keeping the pieces stationary. I had problems because I had no experience in placing Lego pieces before." Similarly, S7's struggle with the tachometer stemmed from its first-time use: "We were using the tool that we measured the number of rotations for the first time. We understood some of the places to be considered while measuring later, but it was difficult at first."

Additionally, students faced hurdles in executing the necessary mathematical operations ($f=5$), comprehending the mechanics of gear ratios and gears ($f=5$), and making design decisions ($f=3$). S2, who had trouble grasping the concept of gear ratios, expressed: "I had difficulty

in making the relation between the gear ratio and the car being fast or slow in my head." S19, highlighting a general difficulty with mathematical operations, stated: "I always have difficulty in doing operations in mathematics, and things did not change here." These responses suggest that, while the activity was intended to integrate practical and theoretical learning, the lack of familiarity with both the tools and the concepts presented significant challenges for the students.

The students found certain aspects of the activity relatively easy: creating designs (f=9), performing mathematical operations related to Ratio and Proportion (f=8), testing the design (f=4), and adapting the design to different conditions (f=2). S7, who found designing straightforward, said, "Choosing the appropriate gears for the car designs was easy because we conducted numerical operations and verified these on the car, which simplified the process." Similarly, S18, who experienced ease with mathematical operations, commented, "Calculating the gear ratio and related operations presented no difficulty."

Students who engaged in the 2 Gears activity offered advice for future participants, emphasizing the importance of correctly connecting gears to ensure the system functions properly (f=4), attaching gears according to the chosen combination (f=3), being mindful during the process (f=3), and securing the tachometer and car during speed measurements (f=2). S16, advising on fitting gears based on the selected combination, remarked, "*It's crucial to accurately note the gear ratio during use. We encountered an error because we recorded it incorrectly and attached it accordingly...*"

The majority of students who participated in the 2 Gears activity rated it as 4 points (f=7) and 5 points (f=10) out of 5. An analysis of their responses revealed positive feedback, such as the activity being engaging, making learning enjoyable and more accessible, aiding in understanding real-life scenarios, and going beyond mere calculations to include design experimentation. In this context, S15 expressed, "*5 points. The activity wasn't solely about math operations; it allowed us to experiment.*" Similarly, S20 shared, "*I'd give 4 points because it was a nice and interesting activity, though the small Legos were challenging to attach.*" Conversely, a minority of students rated the activity lower, giving 2 points (f=1) and 3 points (f=3), citing negative aspects such as the activity being confusing and challenging to implement, and not adequately covering certain technical engineering concepts. For instance, S21 commented, "*2 points. I think it didn't explain concepts like gear torque very well,*" while S13 stated, "*3. It was confusing, and I didn't fully understand it.*"

Students participating in this activity reported that it either positively influenced their attitudes towards mathematics ($f=13$) or had no effect on their views ($f=7$). Those who felt the activity impacted their perspective on mathematics shared that it helped them recognize the subject's relevance to daily life, its necessity in various fields, and the possibility of being more actively engaged in lessons. For example, S4 remarked, "Yes, it did. We saw once again that mathematics is essential in every field," and S14 added, "Yes. Previously, I hadn't thought we could be so active in math classes. This activity changed my perspective." On the other hand, students who believed the activity did not influence their views on mathematics cited reasons such as a lack of interest in both disciplines, the usual absence of such activities in regular math classes, and the disconnect between these activities and exam preparation. In this regard, S5 expressed, "No, I don't think so, because we don't prepare for exams this way."

Student Views on Hydraulic Leverage Activity

The views of students who participated in the Engineering Design-Based Mathematics Activities, specifically concerning the Hydraulic Lever Activity, are presented in Table 6.

Table 6

Student Views on Hydraulic Leverage Activity

Themes	Codes	Frequency
Difficult places	Using the activity setup	10
	Doing mathematical operations	4
Easy to find places	Create the desired design	10
	Doing mathematical operations	5
Advice for those attending the event	Handling liquid carefully	6
	Bleeding the hose	4
	Syringe kit and attention to its use	3
Evaluating the activity	5 points	4
	4 points	6
	3 points	5
	2 points	1
	1 point	1
The effect of the activity on views towards mathematics	Affected	10
	Did not affect	10

As seen in Table 6, students participating in the Hydraulic Leverage Activity encountered difficulties in using the activity setup ($f=10$) and in performing mathematical operations ($f=4$). Among those who reported challenges with the activity apparatus, Student 9 stated, 'It was difficult to fill the syringes with liquid for the experiment and then place weights on them,' and Student 11 noted, "After selecting the syringes, we faced difficulties in adding weights and adjusting the apparatus."

In this activity, students indicated that they found it easy to create the desired design (f=10) and to perform mathematical operations (f=5) after making their choices. Student 1's view on this matter was, *"After understanding how the leverage system works and finalizing our choices, creating the appropriate design and calculating the operations became easy."*

The students who participated in the Hydraulic Leverage Activity offered advice on several aspects: using the liquid carefully (f=6), bleeding air from the hose (f=4), and being attentive to the syringe set and its use for future participants. Student 7, who provided advice on the syringe set and usage, remarked, *"Participants can attach the syringe after drawing the water, which is easier. There are already designated compartments for this."*

Students rated the activity on a scale of one to five, with the following distribution of scores: 1 point (f=1), 2 points (f=1), 3 points (f=5), 4 points (f=6), and 5 points (f=4). Those who awarded 4 and 5 points highlighted positive aspects such as the activity's intriguing and unique nature, the manageable workload, and the clarity of the discussion questions. Student 7, who was assigned 5 points due to the explanatory nature of the discussion questions, stated, *"I would rate it 5 because the questions posed during and after the activity provided significant insights."*

Conversely, students who gave scores of 1, 2, and 3 critiqued the activity for aspects such as the use of liquid, difficulty in handling the materials, and a comparative lack of active participation. Student 6, who rated the activity 3 points for its limited active participation, commented, *"I gave it 3 because our involvement was mainly limited to attaching syringes and placing weights."*

A notable observation in the evaluations is the differing perceptions of realism: a student who rated the activity five points attributed their score to its realistic nature, whereas another who gave two points cited a lack of realism as the reason. These contrasting viewpoints are illustrated in the following student responses:

S9: *"2 points. I don't think the vehicles were removed like this, it was not realistic"*

S5: *"5 points. I saw it in vehicle maintenance. They used oil, we used colored water, so I think the activity was realistic."*

In the Hydraulic Leverage activity, it was observed that an equal number of students (f=10 for each group) expressed differing views on the impact of the activity on their perception of mathematics. Those who found the activity influential described it as making the mathematics lesson enjoyable and relevant, highlighting the subject's significance and prevalence in everyday life. Conversely, the students

who perceived no impact critiqued the activity as uninteresting and unrelated to mathematics, viewing it more as an engineering task that could be accomplished without mathematical involvement. One student, S14, exemplified this viewpoint, stating, "*No, it did not [affect my opinion]. We could have found them by experimenting without using mathematics.*"

Student Views on the Life Center Activity

The views of the students who participated in the Engineering Design-Based Mathematics Activities application regarding the Life Center Activity are given in Table 7.

Table 7

Student Views on the Life Center Activity

Themes	Codes	Frequency
Difficult places	Shared decision-making with the group	11
	Fit the drawing to the design paper	8
	Organize the design according to the given criteria	6
	Associating the map scale with the area scale	5
	Making a choice for design	5
	Doing mathematical operations	4
	Easy to find places	Doing mathematical operations
	Edit the design	5
	Design making	5
	Presenting the design	3
	Discussion	2
	Advice for those attending the event	Requesting large design paper
	Care for compromise with the group	5
	Making the design by considering all criteria	2
	Drafting the design first	2
	Evaluating the activity	5 points
	4 points	7
	3 points	3
	The effect of the activity on views towards mathematics	Affected
	Did not affect	7

Table 7 reveals the challenges faced by students in the Life Center Activity, with difficulties including making a group decision (f=11), fitting the drawing onto the design paper (f=8), organizing the design based on specific criteria (f=6), correlating area scale with map scale (f=5), making design choices (f=5), and performing mathematical calculations (f=4). S8 mentioned struggling to organize the design according to the criteria, citing difficulty in deciding between time

efficiency and cost-effectiveness. Echoing this, S13 also experienced trouble in both decision-making and design organization, finding it hard to balance diverse ideas and practical considerations such as utility, aesthetics, time, and cost.

Conversely, some students found aspects of the activity easier. They reported ease in performing mathematical operations ($f=5$), organizing the design ($f=5$), designing ($f=5$), presenting the design ($f=3$), and engaging in discussion ($f=2$). S12, who found presenting the design straightforward, attributed this to the thorough consideration given during the group design process, which facilitated clear articulation of the advantages, disadvantages, and comparative analysis of their design.

Participants in the Life Center Activity offered several recommendations for future participants: using a larger design paper (suggested by 7 participants), emphasizing compromise within the group (5 participants), considering all criteria in the design process (2 participants), and initially drafting the design (2 participants). Specifically, S11 advised starting with a draft design, recommending, *"Before drawing your design on paper, decide on the final version with your group friends."*

Regarding their evaluation of the activity, students rated it with a distribution of 5 points (10 students), 4 points (7 students), and 3 points (3 students) out of a possible 5. The majority, who awarded it 5 points, described the activity as enjoyable, creatively stimulating, and freedom-enhancing. S14, who also rated it 5 points, appreciated the environmental consciousness of the activity, noting, *"I give 5 points because we had to protect the forest area while building the life center in the activity. I liked that this activity was sensitive to the environment."* On the other hand, students who gave lower ratings cited difficulties in group collaboration, insufficient drawing space, and the complexity of ratio-proportion tasks. S6, who rated it 3 points, explained, *"3 points because it is a difficult activity to work with a group,"* indicating challenges in group dynamics.

In the Life Center activity, a majority of the students ($f=13$) reported a positive shift in their attitudes towards mathematics, attributing this change to the activity's real-life applications, increased engagement in class, the enjoyment of problem-solving, and a boost in self-confidence during lessons. S2, highlighting the impact on self-confidence, remarked: *"The parts that I could not do in the activity, we did easily by helping my friends because we were in group work and we completed the activity completely. I feel insecure when I cannot do something in mathematics. Since I did not experience such a situation here, my self-confidence increased. So I can say that it affected me."* This statement

reflects the confidence gained through collaborative problem-solving in the activity.

However, some students ($f=7$) felt that the activity did not alter their preconceived notions about mathematics, believing it to be relevant only for those pursuing engineering. S12 articulated this perspective, stating: *"The activity did not break down my prejudices about mathematics and mathematics has already created prejudices about engineering. It is still the same."* This comment suggests that for these students, the activity failed to bridge the gap between their existing views on mathematics and its practical application in other fields like engineering.

Discussion, Conclusion, and Suggestions

This study investigated the impact of engineering design activities, tailored for a middle school mathematics curriculum, on students' academic achievement and their perceptions of the activities. These activities were crafted within an integrated STEM education framework, intertwining mathematical and engineering methods and content. According to Guzey et al. (2016) and Moore et al. (2014), effective STEM integration at any educational level should engage students with meaningful, realistic situations. Furthermore, when integrating STEM with engineering design, it's commonly held that students should have some familiarity with the engineering design process and basic engineering experiences (Brophy et al., 2008; Fantz et al., 2011). Hence, the three activities designed for this study purposefully used engineering and design as contexts to introduce mathematical concepts.

The study found that activities based on engineering design significantly improved students' academic performance in Ratio and Proportion. This improvement was notable compared to traditional question-solving methods in current educational programs. The students' direct experience with the application of mathematical knowledge in these activities is thought to contribute to this result. Forde et al. (2023) noted that integrating math into engineering challenges requires more than procedural operations; it necessitates mathematical reasoning for tasks like data representation, interpretation, and material selection for prototypes. This aligns with literature suggesting that engineering design-based education positively influences achievement in mathematics and other STEM areas (Coxon et al., 2017; Delen & Sen, 2023; Firdaus et al., 2020).

Analyzing student feedback, challenges emerged in using unfamiliar tools in and out of the classroom. While engineering design demands the exploration and development of technology and tools (Morrison, 2006; ITEA 2000), the potential cognitive burden, obstructing learning

goals, shouldn't be overlooked (Chen et al., 2022). To mitigate this, introducing technologies and materials beforehand for student exploration is recommended.

Students generally found mathematical concepts and operations meaningful and less challenging when viewed as natural tools for problem-solving. Presenting these concepts within the context of engineering design encouraged inquiry. Engineering design activities naturally integrate mathematical concepts and inquiries into problem-solving processes, requiring students to employ mathematical concepts and operations to develop a design (NRC & NAE, 2009).

Overall, student responses to the activities were predominantly positive. Echoing the literature (Dickerson et al., 2014; Pişkin Tunç & Gündoğdu, 2022), they described the engineering design-based mathematics activities as engaging, enjoyable, realistic, intriguing, and conducive to learning and creativity. A student praised the Life Center activity for its environmental consciousness. Incorporating aspects like ethical and cultural dimensions, government policies, and community benefits into K-12 engineering integration is advised in the literature (Gunckel & Tolbert, 2018; Rodriguez & Shim, 2021), suggesting the possibility of expanding criteria and limitations in activity preparation and implementation.

However, some students expressed disinterest in the activities, citing a lack of interest in both engineering and mathematics and doubting the activities' relevance to them. Interdisciplinary and integrated educational content aims to motivate students by leveraging their personal knowledge, skills, and experiences (Moore et al., 2014). Adopting a curriculum that identifies and integrates common or parallel topics across disciplines can help engage student interest, as supported by literature advocating for customizable integration levels (Bybee, 2013; Fogarty, 1991; Jacobs, 1989).

The design process in the activities bridged learning and application of mathematical concepts with real-world experiences. Li et al. (2019) argued that design isn't confined to fields like engineering or architecture but is applicable in science and mathematics. Therefore, design activities that develop mathematical concepts and skills alongside design skills should be expanded. The activities in this study, centered around the engineering design process, supported seventh-grade Ratio and Proportion outcomes. Future research could focus on emphasizing mathematical skills, fostering creativity, and examining the engineering design process in more detail. Reapplying these activities with more participants and longer duration, and assessing their long-term effects, could also be valuable.

Ethics Committee Approval: This research was conducted with permission obtained by the Hacettepe University Ethics Committee dated 11/02/2022 and numbered E-51944218-300-00002032584.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Author's Contribution: This study is derived from a master's thesis conducted by the first author under the supervision of the second author.

References

- Alfieri, L., Higashi, R., Shoop, R., & Schunn, C. D. (2015). Case studies of a robot-based game to shape interests and hone proportional reasoning skills. *International Journal of STEM Education*, 2, Article 4. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0017-9>
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379.
- Baykul, Y. (2021). *Ortaokulda matematik öğretimi (5-8. Sınıflar)*. (4. Baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.
- Berland, L., Steingut, R., & Ko, P. (2014). High school student perceptions of the utility of the engineering design process: Creating opportunities to engage in engineering practices and apply math and science content. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 705– 720. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9498-4>
- Berry, R. Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C. D., Starkweather, G., & Aylor, J. (2010). Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(2), 167-172.
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387.
- Büyüköztürk, Ş. (2020). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı: İstatistik, araştırma deseni Spss uygulamaları ve yorum* (28. Baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.
- Bybee R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995):996
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press.
- Capobianco, B. M., DeLisi, J., & Radloff, J. (2018). Characterizing elementary teachers' enactment of high-leverage practices through engineering design-based science instruction. *Science Education*, 102(2), 342-376.
- Channell, D. F. (2009). The emergence of the engineering sciences: A historical analysis. In *Philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 117-154).

- Chen, Y. C., Chang, Y. S., & Chuang, M. J. (2022). Virtual reality application influences cognitive load-mediated creativity components and creative performance in engineering design. *Journal of Computer Assisted Learning, 38*(1), 6-18.
- Coxon, S. V., Dohrman, R. L., & Nadler, D. R. (2018). Children using robotics for engineering, science, technology, and math (CREST-M): The development and evaluation of an engaging math curriculum. *Roeper Review, 40*(2), 86-96. <https://doi.org/10.1080/02783193.2018.1434711>
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching & learning matrix. *Journal of Engineering Education-Washington, 101*(4), 738. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Delen, I., & Sen, S. (2023). Effect of design-based learning on achievement in K-12 education: A meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching, 60*(2), 330-356. <https://doi.org/10.1002/tea.21800>
- Daugherty, M. K., & Carter, V. (2018). The nature of interdisciplinary STEM education. In M. J. de Vries (Ed.), *Handbook of technology education* (pp. 159–171). Springer.
- Dickerson, D. L., Eckhoff, A., Stewart, C. O., Chappell, S., & Hathcock, S. (2014). The examination of a pullout STEM program for urban upper elementary students. *Research in Science Education, 44*(3), 483-506.
- Drake, S. M. & Savage, M. F. (2016). Negotiating accountability and integrated curriculum in a global context. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 15*(6).
- English, L. D. (2016). Advancing mathematics education research within a STEM environment. *Research in mathematics education in Australasia 2012-2015, 353-371*.
- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education, 27*(1), 107–129. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x>
- Fantz, T. D., De Miranda, M. A., & Siller, T. J. (2011). Knowing what engineering and technology teachers need to know: An analysis of pre-service teachers engineering design problems. *International Journal of Technology & Design Education, 21*(3), 307-320.
- Firdaus, A. R., Wardani, D. S., Altaftazani, D. H., Kelana, J. B., & Rahayu, G. D. S. (2020). Mathematics learning in elementary school through engineering design process method with STEM approach. *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1657, No. 1, p. 012044)*. IOP Publishing.
- Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What does mathematics have to offer?. *Mathematics Education Research Group of Australasia*.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership, 49*(2), 61– 65.
- Forde, E. N., Robinson, L., Ellis, J. A., & Dare, E. A. (2023). Investigating the presence of mathematics and the levels of cognitively demanding

- mathematical tasks in integrated STEM units. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 5(1), 3.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education (8th ed.)*. McGraw-Hill Companies.
- Frodeman, R., Klein, J. T., & Pacheco, R. C. D. S. (Eds.). (2010). *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. Oxford University Press.
- Gunckel, K. L., & Tolbert, S. (2018). The imperative to move toward a dimension of care in engineering education. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(7), 938-961.
- Guzey, S. S., Moore, T. J., & Harwell, M. (2016). Building up STEM: An analysis of teacher-developed engineering design-based STEM integration curricular materials. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 6(1), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1129>
- Guler, G., Sen, C., Ay, Z. S., & Ciltas, A. (2019). Engineering skills that emerge during Model-Eliciting Activities (MEAs) based on 3D modeling done with mathematics pre-service teachers. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 7(3), 251-270
- Hathcock, S.J., Dickerson, D.L., Eckhoff, A., & Katsioloudis, P. (2015). Scaffolding for creative product possibilities in a design-based STEM activity. *Research in Science Education*, 45(5), 727-748. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9437-7>
- Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. *Publications*. Paper 165.
- International Technology Education Association [ITEA] (2000). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: International Technology Education Association.
- Jacobs, H. H. (1989). *Interdisciplinary curriculum: Design and implementation*. Association for Supervision and Curriculum Development, VA 22314.
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). Design and design thinking in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104.
- Lie, R., Selcen Guzey, S., & Moore, T. J. (2019). Implementing engineering in diverse upper elementary and middle school science classrooms: Student learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology*, 28(2), 104-117. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9751-3>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The role of mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM*, 51(6), 869-884.
- Maiorca, C. (2016). *A case study: Students' mathematics-related beliefs from integrated STEM model-eliciting activities* (Doctoral dissertation). University of Nevada, Las Vegas.

- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2018). *Matematik dersi (ilkokul ve ortaokul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar) öğretim programı*. Talim Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (pp. 35-60). Purdue University Press.
- Morrison, J. (2006). Attributes of STEM education: The student, the school, the classroom. *TIES (Teaching Institute for Excellence in STEM)*, 20, 2-7.
- Mulder, M. (2012). Interdisciplinarity and education: towards principles of pedagogical practice. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 18(5), 437-442.
- National Academy of Engineering and National Research Council [NAE and NRC]. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies Press.
- National Research Council [NRC] & National Academy of Engineering [NAE]. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. (L. Katehi, G. Pearson, & M. Feder, Eds.). National Academies Press.
- Newell, W. H., Wentworth, J., & Sebberson, D. (2001). A theory of interdisciplinary studies. *Issues in Interdisciplinary Studies*.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Park, D. Y., Park, M. H., & Bates, A. B. (2018). Exploring young children's understanding about the concept of volume through engineering design in a STEM activity: A case study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 275-294.
- Pişkin Tunç, M. & Gündoğdu, N. S. (2022). Middle school students' views about STEM activities used in teaching ratio and proportion. *Bartın University Journal of Faculty of Education*, 11 (3), 647-662.
- Pugalenthi, P. (2019). *Integration of engineering in a middle grade mathematics classroom: A conceptual framework for science, technology, engineering and mathematics (STEM) integration* (Doctoral dissertation). The University of North Carolina at Charlotte.
- Rodriguez, A. J., & Shim, S. W. (2021). Addressing critical cross-cultural issues in elementary STEM education research and practice: a critical review essay of engineering in elementary STEM education. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 1-17.
- Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H. H., & Park, M. S. (2012). Is adding the e enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School science and mathematics*, 112(1), 31-44. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00112.x>

- Stohlmann, M., Maiorca, C., & DeVaul, L. (2017). Elementary teachers' engineering design activities from a state without engineering standards. *Science Educator*, 26(1), 48-59.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research (Vol. 15)*. CA: Sage
- Tourniaire, F., & Pulos, S. (1985). Proportional reasoning: A review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 181–204.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Wendell, K. B., Connolly, K. G., Wright, C. G., Jarvin, L., Rogers, C., Barnett, M., & Marulcu, I. (2010). Incorporating engineering design into elementary school science curricula. In *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Louisville, KY*.
- Wendell, K. B., & Rogers, C. B. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513–540. <https://doi.org/10.1002/jee.20026>