

Öğretmen Adaylarının Elektrik Alanın Vektörel Gösterimine Yönelik Zihinsel Modelleri

Pre-Service Teachers' Mental Models of Vectorial Representation of Electric Field

Alpaslan ŞAHİNOĞLU¹ ve Zeynep BAŞKAN TAKAOĞLU²

¹ Gümüşhane Türk Telekom Fen Lisesi, Gümüşhane, ORCID No: 0000-0001-5298-4660

² Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, ORCID No: 0000-0003-1706-7933

Kaynak Gösterimi İçin (For cited in):

Şahinoğlu, A. & Başkan Takaoğlu, Z. (2025). Öğretmen adaylarının elektrik alanın vektörel gösterimine yönelik zihinsel modelleri. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 13 (1), 1-21. DOI: <https://doi.org/10.56423/fbod.1485241>

Öğretmen Adaylarının Elektrik Alanın Vektörel Gösterimine Yönelik Zihinsel Modelleri

Alpaslan ŞAHİNOĞLU¹ ve Zeynep BAŞKAN TAKAOĞLU^{2,*}

¹ Gümüşhane Türk Telekom Fen Lisesi, Gümüşhane, ORCID No: 0000-0001-5298-4660

² Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, ORCID No: 0000-0003-1706-793

Makale Bilgisi	Öz
Gönderilme Tarihi: 16, Mayıs, 2024 Revizyon Tarihi: 30, Ocak, 2025 Kabul Tarihi: 14, Mayıs, 2025	<i>Elektrik ve manyetizma konusu soyut bir içeriğe sahip olmasından dolayı anlaşılması zor bir alan olarak görülmektedir. Bu soyut yapının anlaşılmasının nedenlerini ortaya çıkarabilecek yöntemlerden biri de mesleğin başında yer alan ve konuyu derinlemesine öğrenen öğretmen adaylarının zihinsel modelleri üzerinden araştırma yapmaktır. Bu nedenle çalışmanın amacı öğretmen adaylarının elektrik alanın vektörel gösterimine ilişkin sahip oldukları zihinsel modelleri belirlemektir. Örnek olay yönteminin kullanıldığı araştırma 181 ilköğretim matematik ve fen bilgisi öğretmen adayı ile yürütülmüştür. Katılımcılara elektrik alanın vektörel gösterimine ilişkin 6 soru içeren elektrik alan bilgi ölçeği uygulanmış ve gönüllü olan 14 öğretmen adayı ile verdikleri cevapların nedenlerine yönelik yapılandırılmamış mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Analizler sonunda öğretmen adaylarının nokta yüke ait elektrik alanı çizmede sorun yaşamadığı ve bilimsel modele sahip oldukları tespit edilmiştir. Fakat yük çeşidi, miktarı ya da uygulama şekli değiştikçe elektrik alan çizgilerini oluşturmada zorlandıkları saptanmıştır. Çalışma sonucunda öğretmen adaylarında var olan eksik, yanlış ve yanlışlı bilgilerin bir nedeninin vektörel özellikler ile elektriksel alan bilgisinin ilişkilendirilememesine bağlı olduğu düşünülmektedir.</i>

Anahtar Kelimeler:

elektrik alan, elektrik alanın vektörel gösterimi, zihinsel model

Pre-Service Teachers' Mental Models of Vectorial Representation of Electric Field

Article Information	Abstract
Received: 16, May, 2024 Revised: 30, January, 2025 Accepted: 14, May, 2025	<i>Understanding electricity and magnetism is often considered challenging due to their abstract nature. One of the steps to be taken to determine the reasons why teacher candidates have difficulties is to conduct research to reveal their mental models on electricity and magnetism. This study aims to identify the mental models of pre-service teachers concerning the vectorial representation of the electric field for different charges distribution. Employing a case study methodology, the research involved 181 pre-service elementary mathematics and science teachers. Participants completed an electric field knowledge scale comprising six questions related to the vectorial representation of the electric field, followed by unstructured interviews with 14 volunteer pre-service teachers to explore the rationale behind their responses. When the mental models of teacher candidates were examined in line with the findings obtained that while pre-service teachers demonstrated proficiency in drawing the electric field of a different point charges and exhibited a scientific model, they encountered difficulties when depicting electric field lines, particularly when the type, quantity, or application of charge varied. The study suggests that the inability to correlate vectorial properties with electric field knowledge may contribute to the incomplete, erroneous, and misconceived understanding observed among pre-service teachers. It is recommended to use animations and simulations to overcome these deficiencies.</i>

Keywords:

electric field, vectorial presentation of electric field, mental models

*Sorumlu Yazar: E-mail: zeynepbaskan@hotmail.com

Giriş

Fizik, hayatın içerisinde uygulamalı bir bilim dalıdır ve günlük hayatta da yer alan elektrik-manyetizma, fiziğin en yaygın inceleme alanları arasında yer almaktadır (Bilal ve Erol, 2009). Elektrik ve manyetizma, dünyanın anlaşılması ve son teknolojik gelişmelerin açıklanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Chabay ve Sherwood, 2006). Bu önemi nedeniyle, tüm seviyelerdeki fen ve fizik eğitimi müfredatlarının yapısını oluşturan en temel konulardan biri olarak yerini almıştır (Karal, Alev ve Yiğit, 2009). Konu, ilkökul 3. sınıftan itibaren müfredatta bulunmakta ve ilerleyen kademelerin tümünde yer almaktadır (Harman ve Çökelez, 2016). Hatta fen bilimleri ile ilişkili bir alan seçilmişse, üniversite düzeyinde de devam etmektedir.

Elektrik ve manyetizma, birçok alt konuyu içerisinde barındırmakla birlikte, başlangıçta elektriksel kuvvet, elektrik alan gibi temel elektrik bilgilerini içermektedir (Serway ve Beichner, 2011). Elektrik konusu içerisinde bulunan “elektrik alan” kavramına bakıldığında, bunun öğrenciler tarafından eksik öğrenildiği görülmektedir (Huang vd., 2008; Şahin ve Yağbasan, 2012; Türkkkan, 2017). Oysa elektrik-manyetizmanın temelinde bulunan “alan” kavramı, ilerleyen bölümlerin anlaşılması açısından önemlidir (Chabay ve Sherwood, 2006; Hesse, 2005).

Elektrik alan kavramının neden anlaşılmadığına bakıldığında, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli sebepler açıklanmıştır. Furio ve Guisasola (1998), bunun nedenini elektrik alan kavramına ait ontolojik ve epistemolojik türden zorluklara bağlamaktadır. Huang vd. (2008), mekanik kavramlarından sonra gelen elektrik ve manyetizmanın, mekanik konuların aksine daha fazla soyut kavramlar içermesinin, elektrik ve manyetizmanın anlaşılmasını zorlaştırdığını ifade etmişlerdir. Chabay ve Sherwood (2006), öğrencilerin mekanikte gözle görebildikleri makroskobik objelerdeki hız ve kuvvet gibi önemli vektörel kavramları günlük hayatla ilişkilendirebildiklerini, fakat elektrik ve manyetizmadaki yük gibi mikroskobik ya da “elektrik alan” gibi soyut kavramları yeterince öğrenemediklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, elektrik ve manyetizma konularının yük, elektriksel kuvvet, elektrik alan, akı, Gauss yasası şeklinde hızlı bir biçimde işlendiği, fakat uygulamada eksikliklerin olduğu bilinmektedir (Karal, Alev ve Yiğit, 2009).

Elektrik alan, kendi içerisinde birden fazla alt başlığa bölünmüştür. Adrian ve Füller (1997), elektrik alanı I) Elektrik alanın varlığı, II) Elektrik alanın kaynağı, III) Elektrik alanda süperpozisyon ve IV) Elektrik alanın vektörel gösterimi olarak dört başlık altında incelemiştir. Dört temel başlıktan biri olan elektrik alanın vektörel gösterimi, öğrenciler tarafından dikkate alınmayan bir konu olmasının yanında, öğrencilerin elektrik alanda vektör kavramını göz ardı etmesi, elektrik alanın zor anlaşılmasına neden olmaktadır. Bu konuda öğretim programlarında diğer başlıklar ayrı ayrı incelenirken, elektrik alanın vektörel gösterimi bu üç başlığın içerisine yerleştirilmiştir (MEB, 2018). Dahası, yine aynı programda elektrik alandan söz edilmesine karşın, elektrik alanın vektörel gösterimine yönelik herhangi bir kazanım bulunmamaktadır. Öğrenciler, elektrik alan konusuyla ilgili olarak elektriksel kuvvet, alan şiddeti ya da alan çizgileri gibi kavramları birbirine karıştırmaktadır (Hekkenberg, Lemmer ve Dekkers, 2015; Karal ve Uzun, 2018). Bu anlaşmazlığın en büyük nedenlerinden biri de, elektrik ve manyetik alan içerisindeki vektör kavramının yeterince kullanılmaması ve bu konuya yeterince vurgu yapılmamasıdır (Bilal ve Erol, 2009; Pocovi ve Finley, 2002; Saarinen, Laaksonen ve

Hirvonen, 2007). Adrian ve Füller (1997), 216 kişiden sadece 5'inin oluşturdukları elektrik alana ait zihinsel modelde vektör kavramına yer verdiklerini ortaya koymuştur. Öğrencilerin bu eksikliğinin en önemli nedenlerinden biri olarak, matematiksel araçlar ve hesaplamalarda vektörel ifadelerin eksik kullanılması gösterilmektedir (Furio ve Guisasola, 1998; Saarinen vd., 2007).

Elektrik alanın açıklanmasında, alanın gözle görülemiyor olması, öğrencilerin oluşturdukları zihinsel modelleri ortaya koymak açısından önemli bir ayrıntıdır. Bu konudaki zihinsel modellerin anlaşılması, ilerleyen konular açısından büyük önem taşımaktadır (Taşkın ve Ünlü-Yavaş, 2020). Zihinsel modellere bakıldığında, temsil ettikleri dış dünyadaki olay ya da durumlar için olası, sıradan modeller gibi, problemin gerçek durumunun zihinsel temsili olarak düşünülebilirler (Greca ve Moreira, 2000; Jones vd., 2011; Liu ve Lin, 2015). Zihinsel modeller, yeni bilgiler geldikçe gelişmekte ve bireye bir konu vasıtasıyla açıklama, değerlendirme ve tahmin etme fırsatı sunmakta; bu açıdan da bir konunun anlaşılıp anlaşılmadığını değerlendirmek için kullanılabilmektedir (Greca ve Moreira, 2000; Ifenthaler, 2008; Jonassen ve Cho, 2008; McNeil, 2015). Bir zihinsel model asla tamamlanmaz; ancak yeni bir bilgi eklendiğinde gelişmeye devam eder (Greca ve Moreira, 2000). Zihinsel model oluşturma süreci öğrenmenin doğasını anlamak açısından kritik bir yere sahiptir. Çünkü birey, zihinsel modeliyle gerçek dünya olaylarını açıklamaya çalışır (Ifenthaler, 2008). Bireyin zihinsel modelinde oluşturduğu temsiller ile gerçek dünya olaylarını yorumlaması arasında ne kadar fark varsa, konunun öğrenilmesi de o kadar eksik ya da yüzeysel olmaktadır (Greca ve Moreira, 2000; Liu ve Lin, 2015).

Fiziksel olayların soyut yapıları, bireyin doğru zihinsel model oluşturmalarını zorlaştırmakta, bu da öğrencilerin kavramsal anlamalarını olumsuz etkilemektedir (McNeil, 2015). Özellikle fizik gibi soyut içeriğe sahip derslerde, öğrencilerin zihinsel modelleri aracılığıyla bilgileri nasıl yapılandırdıklarını ve ne tür düşünme süreçleri kullandıklarını anlamak, öğretmenlerin öğretim sürecini daha etkili planlamalarına katkı sağlayabilir (Taşkın ve Ünlü-Yavaş, 2020).

Bu bağlamda, öğrencilerin elektrik alan kavramına ilişkin oluşturdukları zihinsel modellerin belirlenmesi ve bu modellerin analiz edilmesi, öğretim süreci açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Özellikle vektör kavramına dayalı bir gösterimin zihinsel model üzerindeki etkisi ortaya konularak, elektrik alanın öğretiminde ne tür stratejilerin geliştirilebileceği daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir.

Yöntem

Yin (1984), durum çalışmasını bir grup, bir birey veya bir örgütün kendine has özelliklerinin ortaya çıkarılması olarak tanımlamaktadır. Problem durumunun derinlemesine incelenmesi ve açıklanmasını hedefleyen yapısı nedeniyle, durum çalışması araştırmanın doğasına uygundur. Bu yöntemin en önemli avantajı, ölçek, mülakat, gözlem gibi birden fazla veri toplama aracının kullanılmasına fırsat vermesidir (Çepni, 2007; Punch, 2011). Bu yönüyle çalışma, içeriğiyle uyumludur. Durum çalışması desenlerinden, tek bir analiz birimini içeren bütüncül tek durum deseni tercih edilmiştir. Bütüncül tek durumun en önemli özelliği, bir grupta derinlemesine araştırma yapılabilmesine olanak tanımasıdır (Yıldırım ve Şimşek, 2011).

Çalışma Grubu

Araştırmada çalışma grubu olarak, bir devlet üniversitesinin İlköğretim Matematik Öğretmenliği ve Fen Bilgisi Öğretmenliği bölümlerinden, Fizik II dersini almakta olan öğretmen adayları belirlenmiştir. Uygulamalar, Genel Fizik II dersinde elektrik alan konusunun tamamlanmasının ardından yürütülmüştür. İlköğretim Matematik Öğretmenliği programından 91 ve Fen Bilgisi Öğretmenliği programından 90 olmak üzere, toplamda 181 öğretmen adayından Elektrik Alan Bilgi Ölçeği (EABÖ) verileri; ayrıca 14 öğretmen adayından ise görüşme verileri elde edilmiştir. Öğretmen adaylarına ait veriler sunulurken, kodlamalar Ö1, Ö2, Ö3, ... Ö181 şeklinde yapılmıştır.

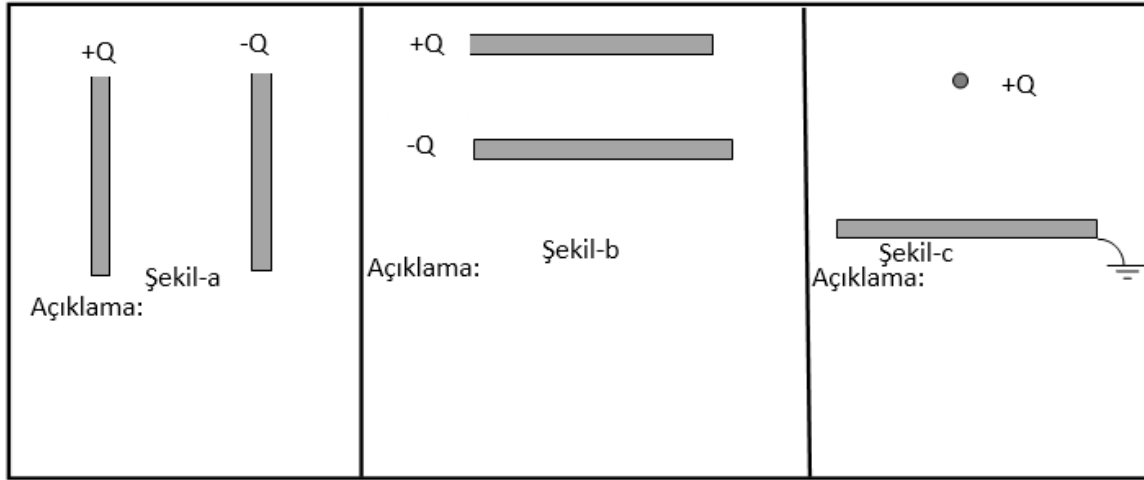
Veri Toplama Araçları

Çalışmada iki farklı ölçme aracından yararlanılmıştır. Bu araçlardan ilki öğretmen adaylarına uygulanan EABÖ, ikincisi ise gönüllü olarak belirlenen adaylarla yürütülen görüşmeleri içermektedir.

Elektrik Alan Bilgi Ölçeği (EABÖ)

EABÖ geliştirilirken, öncelikle elektriksel alan konusundaki vektörel özellikleri içeren konular listelenmiştir. Elektrik alanının vektörel gösterimi ve bununla ilişkili alt konular; elektrik alan çizgileri, bu çizgiler üzerinde elektrik alan vektörünün gösterimi, elektrik alan çizgilerinin yönü, elektrik alan çizgilerinin üç boyutlu olması, elektrik alan çizgilerinin birbirini kesmemesi, elektrik alan içerisinde yüklerin hareketi, elektrik alan çizgilerinin sıklığı ile elektrik alanın büyüklüğünün saptanması (Fishbane, Gasiorowicz ve Thornton, 2003; Serway ve Beichner, 2011; Young ve Freedman, 2010) şeklinde sıralanmıştır. Araştırmacılar tarafından, bahsi geçen konuların her bir özelliğini içeren sorular oluşturulmuş ve altı soruluk bir ölçek hazırlanmıştır. Oluşturulan EABÖ, daha önce Fizik II dersini yürütmüş olan iki öğretim üyesine gösterilerek gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu aşamada, soruların içeriği, anlaşılabilirliği ve sayfa düzenine yönelik öneriler dikkate alınmıştır. Son hâlini alan EABÖ, öğretmen adaylarına uygulanmıştır. Hazırlanan ölçeğin başlangıç kısmında, ölçeğin nasıl çözüleceği, verilerin hangi amaçla kullanılacağı ve ölçeğe cevap verdikleri takdirde katılımcıların güvencelerine yönelik açıklamalara yer verilmiştir. Katılım, öğretmen adaylarının tercihinin bırakılmıştır. EABÖ’de, amaçlar doğrultusunda hazırlanan sorulara yönelik bilgi verilmiş, öğretmen adayının çizim yapacağı şekil yerleştirilmiş ve şeklin altına, adayların gerekli gördükleri noktalarda açıklama yapabilmeleri için boşluklar bırakılmıştır. EABÖ’de yer alan örnek bir soru, Şekil 1’de sunulmaktadır.

2) Aşağıda şekil-a ve şekil-b' de yüklü paralel levhalardaki Şekil-c' de verilen nokta yük ve topraklanmış levha arasında oluşan elektrik alanları çizerek açıklayınız.



Şekil 1: EABÖ'de yer alan farklı yüklü levhalar arasındaki alan çizgilerine yönelik 2. soru

Son sayfada EABÖ'ye cevap verenlerin istedikleri takdirde kendileri ile görüşme yapılacağı belirtilmiş, bunun için gönüllü olanların telefon numaraları ve e-mail adreslerini yazabilecekleri ifade edilmiştir. Uygulanan soruların araştırdığı özellikler ve soruların soruluş amaçları Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. EABÖ'de yer alan soruların ölçmeyi hedeflediği amaçlar

Sorular	Sorunun amacı
1. soru	Farklı noktasal yüklere ait elektrik alan çizgilerinin yönünü belirtmek.
2. soru	Farklı yük dağılımlarına sahip levhalar arasında oluşan elektrik alan çizgilerinin yönünü saptamak.
3. soru	Elektrik alan içerisine bırakılan, farklı dağılımlara sahip yüklerin hareket yönünü belirlemek ve bu hareketin kaynağını elektriksel kuvvetle ilişkilendirmek.
4. soru	Verilen elektrik alan çizgileri üzerinde elektrik alan vektörünü göstermek ve elektrik alan çizgilerinin sıklığı ile farklı noktalardaki elektrik alanının büyüklüğünü karşılaştırmak.
5. soru	Farklı yük dağılımlarına sahip üç boyutlu cisimlere ait elektrik alan çizgilerini belirlemek.
6. soru	Elektrik alan çizgilerinin oluşumuna yönelik hatalar içeren bir sistemde, yön konusundaki hataları tespit etmek.

Görüşme

Öğretmen adaylarının verdikleri cevapların daha iyi anlaşılabilmesi için 14 öğretmen adayıyla yapılandırılmamış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yürütülen EABÖ çalışmasına katılan gönüllü adaylarla tekrar iletişime geçilmiş ve cevapladıkları ölçekler hakkında görüşmeler yapılacağı belirtilmiştir. 8 aday Fen Bilgisi Öğretmenliği Programından, 6 aday ise İlköğretim Matematik Öğretmenliği Programından gönüllü olmuştur. Yürütülen görüşmelerde,

öncelikle katılımcı rızası alınarak ses kaydı gerçekleştirileceği ifade edilmiştir. Ardından, görüşmeye katılan her bir adayın EABÖ çalışması dikkate alınarak, görüşme adayın kendi oluşturduğu ölçeğe dayalı olarak yürütülmüştür. Yürütülen görüşmelerde cevabın seçilme nedeni katılımcıya ayrıntılı şekilde sorulmuş, niçin ve nasıl tercihler yaptıkları değerlendirilmiştir. Görüşmeler, 15 ila 25 dakika arasında değişen sürelerde gerçekleştirilmiştir.

Verilerin Analizi

Veri analizinde, EABÖ ve görüşme verileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Öncelikle EABÖ'den elde edilen veriler, ardından görüşmelerden elde edilen verilerin analizi ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. EABÖ verilerinin analizinde, öğretmen adaylarının her bir soruya verdikleri yanıtlar, soruların oluşturulma amacına göre incelenmiş ve bu doğrultuda zihinsel modelleri ortaya çıkarılmıştır. Zihinsel modeller belirlenirken, Vosniadou ve Brewer (1994) tarafından önerilen sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Bu modeller üç ana başlık altında ele alınmıştır: bilimsel modeller, sentez modeller ve ilkel modeller. Bilimsel model, öğrencilerin verdikleri yanıtların bilimsel bilgilerle uyumlu olduğu durumlardır. Sentez model, bilimsel bilgilerle kısmen örtüşen ya da kısmen çelişen yanıtları ifade eder. İlkel model ise, öğrencilerin bilimsel gerçekliklerle uyuşmayan bilgilerle yanıt verdikleri durumlardır.

EABÖ analizinde, tüm öğrenciler için her bir soru tek tek değerlendirilmiş, ardından diğer soruların analizine geçilmiştir. Her soruya verilen yanıtlar, ilgili modele göre (ilkel, sentez, bilimsel) gruplandırılmış; önemli görülen cevaplar doğrudan alıntı yapılmak üzere işaretlenmiştir. Daha sonra, tüm sorulara verilen yanıtlar iki boyutlu bir tablo ile sunulmuştur. Bu tabloda bir boyutta model türleri (ilkel, sentez, bilimsel), diğer boyutta ise sorular yer almaktadır. Tabloya, yanıtların hem frekans hem de yüzdelik değerleri eklenmiştir. Son olarak, bu iki boyutlu tablodan yararlanılarak veriler yazıya döndürülmüş; belirlenen doğrudan alıntılara yer verilerek uygun sonuçlara ulaşılmıştır.

Öğretmen adaylarının zihinsel modellerinin belirlenmesinde görüşme verileri de destekleyici olarak kullanılmıştır. Jonassen ve Cho (2008), zihinsel modellerin değerlendirilmesinde birden fazla yöntemin kullanılmasını önermektedir. Bu doğrultuda, ölçek verilerine ek olarak öğretmen adaylarıyla yapılan görüşmeler de analiz edilmiştir. Görüşmelerin analizinde, ilk olarak ses kayıtları yazıya dökülmüştür. Elde edilen veriler betimsel analiz yöntemiyle incelenmiştir. Her bir soruya verilen cevaplar analiz edilerek tekrarlayan ifadeler tespit edilmiş ve üst kategoriler altında gruplandırılmıştır. Ardından, bu kategorilerden tablolar oluşturulmuştur. Örneğin, birinci soruda öğretmen adaylarına EABÖ'de yer alan "Elektrik alanının oluşumuna neyin neden olduğu" sorusu yöneltilmiştir. Bu soruya verilen yanıtlar incelenerek yüklü parçacıkların varlığı, elektrik alanının mevcudiyeti ve manyetik alan etkisi gibi kategoriler oluşturulmuştur. Bu kategoriler, ilgili soru grupları altında toplanmış; tablolarda sorular, yanıt kategorileri, katılımcı kodları ve açıklamalar bir araya getirilmiştir. Son olarak, bu tablolar yardımıyla görüşmeler yazıya dökülmüş, gerekli görülen noktalarda katılımcılardan doğrudan alıntılar yapılmıştır.

Araştırmanın Niteliği

Çalışmanın niteliğini artırmak amacıyla, Miles ve Huberman (1994) ile Yıldırım ve Şimşek'in (2011) nitel araştırmalar için önerdiği inandırıcılık ve aktarılabilirlik ilkelerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İnandırıcılığı sağlamak amacıyla, EABÖ'de yer alan sorular iki alan uzmanı öğretim üyesinin görüşü alınarak düzenlenmiş ve elektrik alanının vektörel gösterimi doğrultusunda hazırlanmıştır. Katılımcıların gönüllülük esasına göre çalışmaya katılması sağlanarak, içten ve dürüst yanıtlar vermeleri hedeflenmiştir. Ayrıca, katılımcılara verilerin yalnızca bilimsel araştırma amacıyla kullanılacağı belirtilmiş, böylece açık ve güvenli bir ortam oluşturulmuştur. Görüşme sürecinde, katılımcılardan yanıtlarını ayrıntılı şekilde ifade etmeleri istenmiş ve bu konuda cesaretlendirici bir tutum sergilenmiştir. Değerlendirme aşamasında, katılımcıların %20'sine denk gelen toplam 37 öğretmen adayına ait EABÖ, ikinci bir araştırmacı tarafından da analiz edilmiştir. Araştırmacılar arası uyum, Huberman ve Miles (2002) tarafından önerilen şu formül ile hesaplanmıştır:

$$[\text{Görüş birliği} / (\text{Görüş birliği} + \text{Görüş ayrılığı}) \times 100]$$

Bu hesaplama sonucunda puanlayıcılar arası uyum %73 olarak bulunmuştur. %70 ve üzeri değerler “mükemmel uyum” olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, yapılan çalışma güvenilir bir analiz süreci ortaya koymuştur. Araştırma sürecinde, katılımcılara herhangi bir yönlendirici veya baskılayıcı tutumla yaklaşılmamasına özen gösterilmiştir. Aktarılabilirliğin sağlanması için analiz sürecinde izlenen yol ve kullanılan kaynaklar yöntem bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Katılımcı özellikleri, problem durumu ile ilişkilendirilerek detaylandırılmıştır. Görüşme sırasında anlaşılmayan veya detaylandırılması gereken konularda gönüllü katılımcılarla derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Hem anketlerde hem de görüşmelerde doğrudan alıntılara yer verilmiştir.

Araştırma Etiği

Çalışmada etik ilkelere titizlikle uyulmuştur. Katılımcılar süreç boyunca bilgilendirilmiş ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçla kullanılacağı taahhüt edilmiştir. Verilerin toplanmasında gönüllülük esasına dikkat edilmiştir. Katılımcı gizliliğini korumak amacıyla, alıntılarda Ö1, Ö2, Ö3 şeklinde kodlamalar kullanılmıştır. Bulgular mümkün olduğunca tarafsız bir şekilde sunulmuş, gerekli görülen durumlarda iki araştırmacının mutabakatına başvurulmuştur. Yazım sürecinde bilimsel etik ilkelere sadık kalınmış ve bilimsel, etik ve ahlaki kurallara özen gösterilmiştir. Toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve başka bir yayın ortamına gönderilmemiştir. Çalışmanın planlama, uygulama, analiz ve yazım süreçlerinde, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” çerçevesindeki kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümünde yer alan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler”den özellikle kaçınılmıştır.

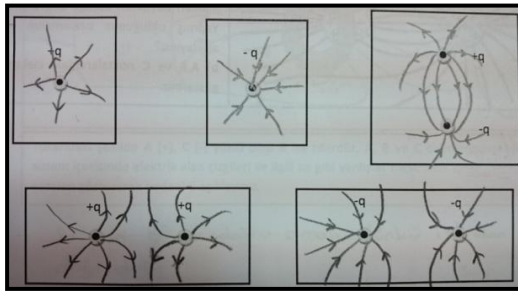
Bulgular

Çalışmanın bu kısmında öğretmen adaylarının farklı yük dağılımlarının oluşturduğu elektrik alanının vektörel gösterimine ilişkin zihinsel modellerine yönelik bulgular sunulmuştur. Tablo 2’de bu verilere ait frekans ve yüzde değerleri yer almaktadır.

Tablo 2. Öğretmen adaylarının farklı yük dağılımlarının oluşturduğu elektrik alanın vektörel gösterimine ait zihinsel modelleri

Sorular	İlkel Model		Sentez Model		Bilimsel Model	
	f	%	f	%	f	%
1. Soru	19	10.5	42	23.2	120	66.3
2. Soru	40	22.1	93	51.4	48	26.5
3. Soru	76	41.1	14	7.7	91	50.2
4. Soru	81	44.7	91	50.3	9	5.0
5. Soru	63	34.8	92	50.8	26	14.4
6. Soru	67	37.0	91	50.3	23	12.7

Tablo 2’de ilk soru olan farklı noktasal yüklerin oluşturduğu elektrik alan için ilkel modele sahip 19, sentez model sahip 42 ve bilimsel modele sahip 120 öğretmen adayı olduğu tespit edilmiştir. Bilimsel modelde öğretmen adayları elektrik alanın hem yönünü, hem de çizimlerini doğru olarak belirtmiştir. Sentez modelde ise ya elektrik alanın yönü yanlış belirtilmiş ya da elektrik alan çizgileri yanlış çizilmiştir. Görüşmelerde elektrik alanın oluşumu için gereken durumlar irdelenmiştir. Ö1, Ö6, Ö10 ve Ö14 öğretmen adayları + ve – yüklerin olması gerektiğini, Ö2, Ö7, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12 ve Ö13 elektrik alanın oluşmasında yüklü parçacıklara ihtiyaç duyulduğunu, Ö4 elektrik alan vasıtası ile gerçekleştiğini ve Ö3 ile Ö5 ise manyetik alana bağlı olarak elektrik alanın oluştuğunu belirtmiştir. Bu konuda Ö11 “Oluşması için yük gereklidir. (+) ya da (-) bir yük oluşunca elektrik alan meydana geliyor.” şeklinde görüşünü ifade etmiştir. Aynı soruda elektrik alanın yönünün nasıl belirtildiği sorusuna tüm adaylar elektrik alanın +dan –ye doğru olduğunu söylemişlerdir. Örneğin Ö3 “İtip çekmesine göre, mesela örnek verirsem bir yükü (+) yük kabul ediyorduk onun yakınlarında (+) yük varsa dışarı doğru, eğer (-) yük varsa içeri doğru diye biliyorum.” Şeklinde görüşünü ortaya koymuştur. Adaylar tarafından çizilen şekillerde de çoğunlukla +’dan –’ye doğru bir yön gösterilmiştir. Bu konuda bilimsel ve sentez modele ait iki örnek şekil 2’de yer almaktadır.

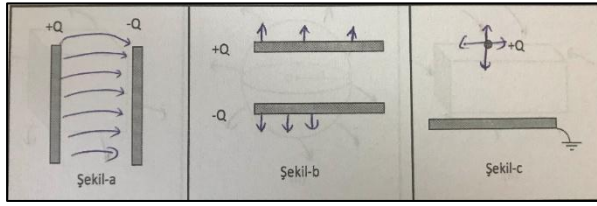


Ö7’ye ait bilimsel model

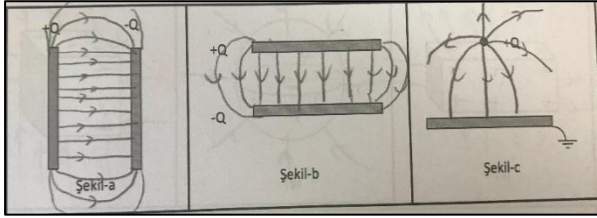
Ö51’e ait sentez model

Şekil 2. Farklı noktasal yüklerdeki elektrik alanının yönüne ait sentez ve bilimsel model örnekleri

Tablo 2’ye bakıldığında ikinci sorunun içeriğini oluşturan farklı yüklü levhalar arasında oluşan elektrik alan çizgilerine ilişkin zihinsel modellerle ilgili ilkel model sahip 40, sentez modele sahip 93 ve bilimsel modele sahip 48 öğretmen adayı tespit edilmiştir. Burada sentez modelin fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3’de öğretmen adaylarının ikinci soruya vermiş olduğu yanıtlardan bazıları sunulmuştur.



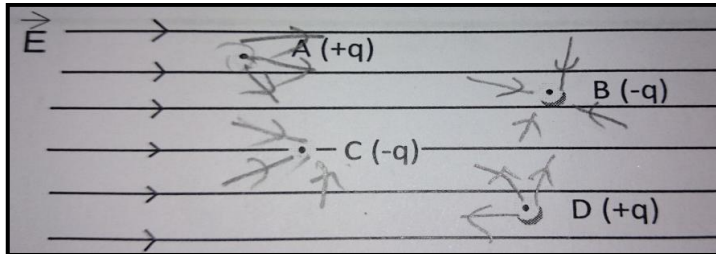
Ö88'e ait sentez model



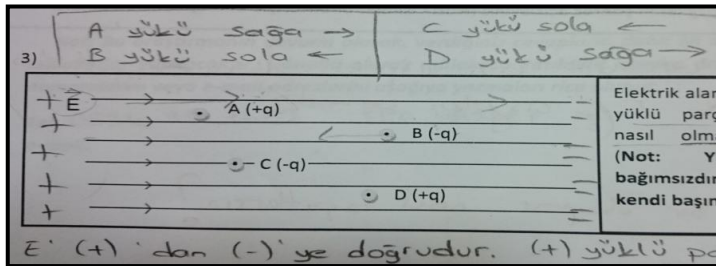
Ö35'e ait bilimsel model

Şekil 3. Farklı yüklü levhalar arasındaki elektrik alanı ait öğretmen adayları cevapları

Üçüncü soruda öğretmen adaylarından 76'sının ilkel modele, 14'ünün sentez modele ve 91'inin zihinsel modele sahip olduğu tespit edilmiştir. Sentez modele sahip öğretmen adayları bazı yüklerin yönünü doğru, bazılarını ise yanlış olarak tayin edip açıklamışlardır. Bilimsel modele sahip öğretmen adayları hem yüklerin yönünü doğru tespit etmiş, hem de buna neden olan etkiyi açıklamışlardır. Öğretmen adaylarına yüklerin hareketini nasıl belirledikleri sorulduğunda Ö3, Ö6 ve Ö7 yüklerin hareketini + ve - yüklerin birbirini itmesi ve çekmesine dayanarak belirlediklerini, Ö4 ve Ö8 elektriksel kuvvetten dolayı böyle bir seçim yaptıklarını ifade ederken, Ö1, Ö2, Ö5, Ö9, Ö10, Ö11, Ö12, Ö13 ve Ö14 bu konuda herhangi bir fikirlerini olmadığını söylemişlerdir. Ö3: "elektrik alanın yönünü bulurken artı artıyı itecek, artı eksiye çekecek böyle belirledim..." şeklinde ifade etmiştir. Bu soruya ait bilimsel ve sentez modele ait iki örnek Şekil 4'te yer almaktadır.



Ö15'e ait sentez model



Ö7'ye ait bilimsel model

Şekil 4: Elektrik alandaki farklı noktasal yüklerin hareketine ait bilimsel ve sentez model örnekleri

Yine aynı soruda elektrik alandaki farklı noktasal yüklerin hareketine neden olan elektriksel kuvvete ilişkin olarak "bir bölgede elektrik alanının var olduğunu biliyorsanız yönünü

nasıl ispatlarsınız?" sorusu sorulmuştur. Bu soruya Ö1, Ö4, Ö9 ve Ö11 cevabı bilmediğini, Ö2, Ö3, Ö6, Ö8, Ö10, Ö12, Ö13 ve Ö14 elektrik alanın var olduğunu düşündükleri bölgeye yüklü bir cisim koyarak onun hareketine bağlı olarak elektrik alanın varlığını ispatlayabileceklerini, Ö5 ve Ö7 ise mıknatıs yerleştirerek mıknatısın hareketine göre elektrik alanın varlığını gösterebileceklerini söylemişlerdir. Ö2 “Yük, deneme yükü koyabiliriz onu artı yük olarak kabul edebiliriz. Eğer hareket varsa elektrik alan vardır...” ifadesinin kullanmıştır.

Tablo 2’ye bakıldığında elektrik alan çizgilerinin sıklığı ve elektrik alanın alan çizgisine teğet olma özelliğine ilişkin sorulan soru için zihinsel modellerden ilkel modele 81, sentez modele 91 ve bilimsel modele sahip 9 öğretmen adayı tespit edilmiştir. Sentez modele sahip öğretmen adayları elektrik alan büyüklüğünü doğru sıralamış fakat elektrik alanın elektrik alan çizgisine teğet olması konusunda eksik ya da hataları oldukları saptanmıştır. Bilimsel modele sahip öğretmen adayları hem sıralamayı hem de elektrik alanın teğet olması gerektiğini doğru olarak ifade etmişlerdir. Öğretmen adayları ile yapılan görüşmelerde sıralamayı neye dayanarak yaptıkları sorulduğunda Ö2 elektrik alanla ters orantılı, Ö1 akımla doğru orantılı, Ö3 elektron geçişiyle doğru orantılı, Ö6, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12 ve Ö13 elektrik alan sıklığıyla doğru orantılı ve Ö10 ve Ö14 cevabı bilmediklerinden dolayı rastgele bir seçim yaptıklarını belirtmişlerdir. Bu soruya Ö9 “Coğrafyadan bir benzetmeden yola çıktım. Çizgiler ne kadar sıkça eğim o kadar fazladır gibi benzettim, İşte tıpkı onun gibi elektrik alan çizgileri ile ilişkilendirerek sonucu buldum.” ifadesini kullanmıştır. Şekil 5’te bu konuda ölçekte yer alan bilimsel ve sentez modele ait cevap örnekleri yer almaktadır.

a) $C > B > A \Rightarrow$ Elektrik alan çizgilerinin sıklığı yerde elektrik alan daha büyük olur. ✓

Ö10 bilimsel model

a) Elektrik alan çizgileri çizgilerin sıklığıyla doğru orantılıdır. Bu yüzden $C > A = B$. ✓

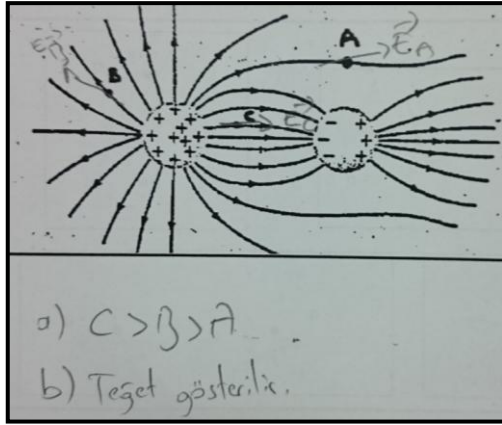
Ö14 sentez model

a) $A = B = C$ 'dir. Elektrik alan sıklığı farklı noktalarda eşittir.

Ö24 sentez model

Şekil 5: Elektrik alan çizgi sıklığı ile elektrik alan arası ilişkiyi gösteren bilimsel ve sentez modele ait örnek cevaplar

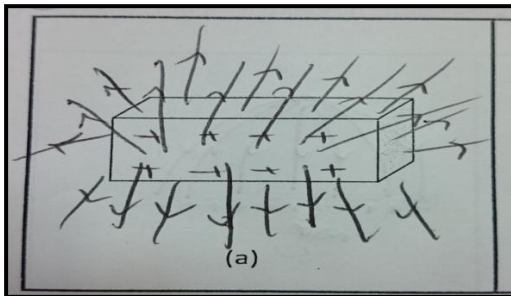
Öğretmen adaylarının dördüncü soruya ilişkin olarak elektrik alanın elektrik alan çizgisine teğet olma özelliği ile ilgili olarak yapılan mülakatlarda; Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö9 cevabı bilmediklerini, Ö11 soruyu anlamadığını, Ö12 ezberlediği için bu şekilde çizdiğini, Ö8 bunun bir kural olduğunu ve Ö14 düz çizildiğini söylemiştir.



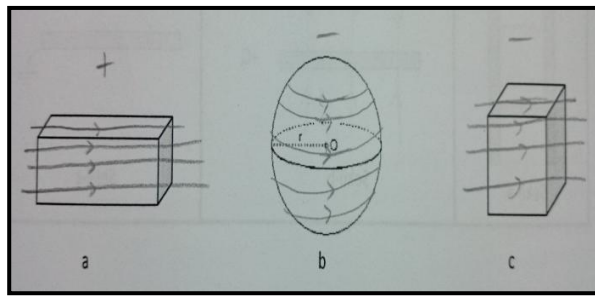
Ö20 bilimsel model

Şekil 6: Öğretmen adayı tarafından farklı yük dağılımlarında elektrik alan çizgilerinin gösterimi

Elektrik alanın üç boyutlu olmasına ilişkin oluşturulan beşinci soru için Tablo 2'ye bakıldığında ilkel modele sahip 63, sentez model sahip 92 ve bilimsel modele sahip 26 öğretmen adayı bulunmaktadır. Sentez modelde genellikle öğretmen adayları elektrik alan çizgilerini iki boyutlu olarak çizmişlerdir. Bilimsel modelde ise elektrik alan çizgileri üç boyutlu çizilmiş ve açıklamalarda üç boyutlu olduğu belirtilmiştir. Bu sorudaki görüşmelerde Ö3, Ö6, Ö7, Ö9, Ö10, Ö11 ve Ö13 üç boyutlu olduğunu bildiklerini, Ö1, Ö2 ve Ö5 iki boyutlu olarak kabul edildiğini, Ö4 ve Ö8 tek boyutlu kabul ettiklerini, Ö12 sonsuz boyuta sahip olduklarını ve Ö14 cismin boyutu kadar boyuta sahip olduğunu söylemiştir. Ö1 görüşünü “Bence iki boyutludur. Kâğıt üzerinde öğrendiğimiz için hep iki boyutluymuş gibi. Sürekli iki boyutlu çizimler yaptık” şeklinde ifade etmiştir. Yapılan çizimlerde bilimsel ve sentez modele ait iki örnek şekil 7’te yer almaktadır.



Ö24 Bilimsel model

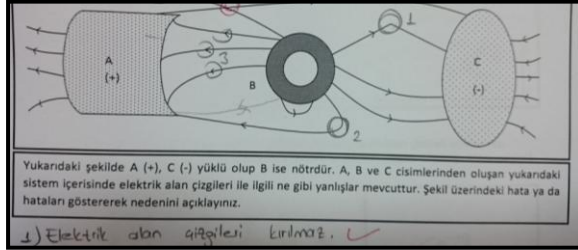


Ö35 Sentez model

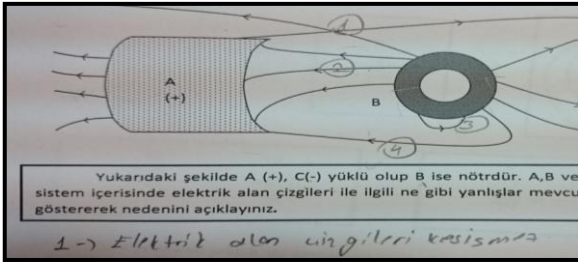
Şekil 7. Elektrik alanın üç boyutlu olmasına ait çizimler

Elektrik alan çizgileri birbirini kesmez ve ani kırılmalar göstermez özelliklerine ilişkin hata içerikli altıncı soruda ilkel modele 67, sentez modele 91 ve bilimsel modele sahip 23 öğretmen adayı tespit edilmiştir. İlkel modele sahip öğretmen adayları her iki özelliği de bulamamıştır. Sentez modele sahip öğretmen adayları sadece ani kırılmaların hatalı olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir. Bilimsel modele sahip öğretmen adayları ise elektrik alan çizgilerinin birbirini kesmeyeceğini ve ani kırılmalar göstermeyeceğini hem soru üzerinde göstermiş hem de açıklamaya dahil etmişlerdir. Öğretmen adayları ile elektrik alan çizgilerinin

bu özelliğine ilişkin yürütülen görüşmelerde Ö1, Ö4, Ö6, Ö9, Ö10, Ö11, Ö13 ve Ö14 elektrik alan çizgilerinin kesişmeyeceğini, Ö7 ve Ö12 kırılmayacağını, Ö2, Ö5 ve Ö8 hem kesişmeyip hem kırılmayacağını ve Ö3 hem kesişip hem de kırılacağını söylemiştir. Ö9 “Elektrik alan çizgileri kesişmez... Hoca öyle yazdırdı ama neden olduğunu bilmiyorum...” ifadesini kullanmıştır. Bu soruda yer alan sentez ve bilimsel modele sahip iki örnek şekil 8’de yer almaktadır.



Ö101 Bilimsel model



Ö45 Sentez model

Şekil 8: Farklı yönlerdeki elektrik alan çizgilerinin özelliklerine ait bilimsel ve sentez model örnekleri

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Genel Fizik II dersinde elektrik alan konusunu tamamlayan öğretmen adaylarının farklı yük dağılımına ait elektrik alanın vektörel gösterimine ilişkin sahip oldukları zihinsel modelleri incelenmiştir. Öğretmen adaylarının elektrik alanın her bir özelliği için farklı anlama seviyelerine sahip olduğu, elektrik alan vektörünün elektrik alan çizgisine teğet olması, elektrik alan çizgilerinin üç boyutlu olması, elektrik alan içerisinde yüklerin hareketi, elektrik alan çizgilerinin kesişmemesi ve kırılmaması gibi özellikleri tam olarak benimsenmediği ve zihinsel model olarak ilkel model düzeyinde kaldığı belirlenmiştir.

İlk soruda farklı yük dağılımlarından oluşan nokta yükün oluşturduğu elektrik alan ve bu yüklere ait elektrik alan çizgilerinin yönüne bakıldığında, çoğu öğretmen adayının bilimsel modele sahip olduğu görülmektedir. Öğretmen adaylarının bu düzeyde sahip olduğu zihinsel modeller elektrik alanın oluşumunu temsil eden farklı yük dağılımındaki nokta yükün oluşturduğu elektrik alanın yönünü yapılandırdıklarını, fakat nokta yük sayısının artması ile elektrik alan oluşturmada sorun yaşadıklarını göstermektedir. Benzer olarak Adrian ve Füller (1997) elektrik alana ilişkin yapmış oldukları çalışmalarında katılımcıların yaklaşık % 60'lık kısmı tek bir yüke ait elektrik alan çizgilerini çizebilirken asıl problemin birden fazla yüke ait elektrik alan çizgilerinin çizilmesinde olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer olarak Karal ve Uzun (2018) öğretmen adaylarının negatif yüklü bir küreye ait elektrik alan çizgilerini oluşturmada % 62'sinin, farklı yüklü noktasal yüklere ait elektrik alan çizgilerini çizmede ise % 43'ünün doğru cevap verdiğini belirtmişlerdir. Bir başka çalışma olan Goswami ve Parida (2015) birinci

sınıf lisans öğrencilerin birden fazla nokta yüke ait elektrik alan çizgilerinin çiziminde sadece %30'unun başarılı olduğunu fakat ikinci sınıf lisans öğrencilerinde ise başarı oranının % 79 civarında olduğunu ifade etmiştir. Campos vd., (2019) ise öğrencilerin bir nokta yüke ait elektrik alan çizgilerini çizmede zorlanmadıkları, fakat bu yükün yanına pozitif ya da negatif bir başka yük koyduklarında öğrencilerin çizim yapmada zorlandıklarını ortaya koymuşlardır. İncelenen literatürden de görüldüğü gibi alanda da benzer sonuçlar ortaya çıkmış ve farklı yük dağılımındaki nokta yüke ait elektrik alanın tespitinde öğrencilerin çok fazla zorlanmadıkları belirlenmiştir.

İkinci soru olan farklı yük dağılımlarına sahip levhalar arasında oluşan elektrik alanın yönünde öğretmen adaylarının çoğunlukla sentez modele sahip oldukları belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının ikinci soruda bilimsel modelde eksik olmalarının nedeni olarak topraklanmış levha ile üzerinde yer alan yüklü cisim arasında elektrik alan çizgilerini oluşturmamaları neden olarak gösterilebilir. Taşkın ve Ünlü Yavaş (2020) zıt yüklü levhalar arasında oluşan elektrik alan çizgilerinin çiziminde katılımcılar arasında % 89'luk bir doğru cevap elde ettiğini ifade etmiştir. Öğrencilerle yapılan mülakatlarda bazı öğrencilerin elektrik alanın oluşmasında manyetik alanın etkili ve gerekli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu da öğrencilerin elektrik alan ile manyetik alanı birbirlerine karıştırdığı yorumunu yaptırabilir. Literatürde de elektrik alan ve manyetik alanın sık sık birbirine karıştırıldığı belirtilmiştir (Hekkenberg vd, 2015; Sağlam ve Millar 2006; Scaife ve Hecler, 2011).

Elektrik alan içerisinde farklı yüklerin hareketine ve bu harekete elektriksel kuvvetin neden olduğunun incelendiği soruya bakıldığında çoğunlukla ilkel model düzeyinde cevap verdikleri görülmüştür. Bu adayların elektrik alanın bu özelliğini tam benimseyemediği görülmektedir. Bunun nedeni olarak da bir bölgede verilmiş ve yönü belli olan elektrik alan çizgilerinin pozitif yükten başlayıp negatif yüke doğru gitmesi gerektiğini uygulayamamalarına bağlanabilir. Öğretmen adaylarının büyük çoğunluğu ilk soruda nokta yükün elektrik alanının yönünü belirlemede başarılı olmalarına rağmen bu durumu farklı bir uygulamada yapamamışlardır. Ayrıca öğretmen adaylarının elektrik alan içerisine bırakılan farklı yüklere bir elektriksel kuvvet etki edeceğini çok dikkate almadıkları, bu durumu elektriksel kuvvetle ilişkilendiremedikleri saptanmıştır. Benzer olarak öğrenciler farklı çalışmalarda da elektrik alan ile elektriksel kuvveti açıklamada bu iki kavramın birbirine karıştırıldığı ve elektrik alan kavramında elektriksel kuvvete yeteri kadar vurgu yapılmadığı ortaya çıkmıştır (Adrian ve Füller, 1997; Törnkvist, Pettersson ve Tranströmer, 1993). Yine benzer olarak Garza ve Zavala (2017) öğrencilerin elektrik konularına günlük hayatta mekanik konularından daha az karşılaştıkları için elektriksel kuvvet ve elektrik alan kavramlarını anlamada zorluklar yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Aynı soru içerisinde bulunan ve elektrik alan içerisine bırakılan elektrik yükünün hareketine ilişkin Demirci ve Çirkinoğlu (2004), katılımcılardan sadece % 5'nin elektrik alan içerisine bırakılan yüklü parçacığın yönünü bulurken elektrik alan çizgilerinin yönünden yararlandığını ifade etmiştir. Taşkın ve Ünlü Yavaş (2020)'de öğrencilerin yüklü parçacığın elektrik alandaki hareketini açıklarken elektrik alan kavramını kullanmadıklarını belirtmiştir.

Elektrik alan çizgilerinin sıklığı ile büyüklüğü arasında doğru orantılı olduğu ve elektrik alan vektörünün elektrik alan çizgisine teğet olma özelliğini içeren soruda daha çok sentez modelde öğretmen adayı yer almaktadır. Öğretmen adaylarının özellikle elektrik alan

vektörünün elektrik alan çizgisine teğet olması gerektiği konusunda eksiklikleri olduğu görülmektedir. Benzer olarak Törnkvist vd., (1993) öğrencilerin elektrik alan çizgisi üzerinde bir noktada elektrik alanı çizgiye teğet çizmede başarısız olduklarını ifade etmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden biri olarak da öğrencilerin var olan bilgi eksikliği ve alan kavramının öneminin yeterince anlatılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Saarlinen vd., (2007), bu duruma paralel olarak katılımcıların elektrik alan ile alan çizgilerini birbirine karıştırdığını bildirmişlerdir.

Elektrik alan çizgilerinin üç boyutlu olması yani cisimden dik olarak çıkması ve cisme dik olarak girmesi gerekir. Burada öğretmen adaylarının daha çok ilkel ve sentez model türünde olduğu belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının elektrik alanın bu özelliğinde eksik olmalarındaki en önemli nedenlerden biri olarak elektrik alan çizgilerinin sürekli iki boyutlu olarak çizilmesi gösterilebilir. Bu eksikliğin bir başka nedeni elektrik alan çizgilerinin üç boyutlu olması, cisme dik olarak girip çıkması gerektiği üzerine yeteri kadar vurgu yapılmaması gösterilebilir. Wolf, Van Hook ve Weeks (1996) yapmış oldukları çalışmalarında elektrik alan çizgilerinin iki boyutlu olarak çizilmesiyle elektrik alan çizgilerinin üç boyutlu olduğu gerçeğinin arka plana itildiğini söylemektedirler. Bunun yanında Taşkın ve Ünlü-Yavaş (2020) öğrencilerin elektrik alan çizgilerini gerçek olduğuna inandıklarını ifade etmişlerdir. Birçok çalışma da öğrencilerin elektrik alan çizgilerini gerçek olarak algılamaları elektrik alanı anlamada oluşan sorunların üstesinden gelmeyi zorlaştırdığını ifade etmiştir (Bradamente, Michelini ve Stefanel, 2006; Campos ve Zavala, 2017; Kurt ve Sarı, 2018).

Farklı yük dağılımlarına sahip elektrik alan çizgilerine ait hataların belirlenmesinde daha çok ilkel ve sentez model tespit edilmiştir. Öğretmen adaylarının büyük çoğunluğu hataları bulma konusunda elektrik alan çizgilerinin pozitif yükten çıkıp negatif yüke gitmesi gerektiği hususunda yanlışları fark etmiştir. Ancak elektrik alan çizgilerinin kesişmemesi ve ani kırılmalar göstermemesi gerektiği hususundaki daha detaylı bilgi hatalarını görmekte zorluk çektikleri söylenebilir. Ayrıca öğretmen adaylarının nötr cisimlerin de etkileşimle kutuplanarak elektrik alandan etkilenebileceğini çözümleyemedikleri ve eksik kaldıkları söylenebilir. Fishbane vd., (2003), elektrik alan çizgilerinin birbirini kesmemesi gerektiğini, elektrik alanın büyüklüğü ve yönü uzayda belli olduğu için kesişmediğini, elektrik alan çizgileri bir noktada kesişselerdi o noktada elektrik alanın yönünün belirsiz olduğu açıklamalarına yer vermiş ve bu durumun anlaşılmasının öğrencilere zorluk çıkaracağını ifade etmişlerdir. Taşkın ve Ünlü Yavaş (2020)'da öğrencilerin en çok hataya düştüğü noktanın alan çizgilerinin kesişmemesi özelliğinde ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.

Campos vd., (2019) ile Campos ve Zavala (2017) elektrik alanı anlamının en önemli yolunun elektrik alan çizgi diyagramlarının oluşturulmasına bağlamaktadır. Ramirez Montoya (2017), elektrik alanı yorumlamak için öğrencilerin elektrik alan çizgilerini bir araç olarak kullanmalarına vurgu yapmaktadır. Elektrik alan kavramının anlaşılmasında anahtar bir rol oynayacağına inanılan elektrik alan çizgilerinin öğretmen adaylarına sunulmasında, elektrik alan çizgilerinin bütün özellikleriyle anlatılması gerekliliğine inanılmaktadır. Sonuç olarak öğretmen adaylarının farklı yüklerin elektrik alanın vektörel özellikleri ile ilişkili ilk konularda çok zorlanmadıkları, ancak ilerleyen konularda çeşitli yanılgılı, eksik ve yanlış fikirlere sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Bu eksikliklerin temeli incelendiğinde hem vektörel özelliklerin hem de elektrik alan özelliklerinin bağdaştırılmasında ve ilişkilendirilmesinde yaşanan sorunlara

bağlı oldukları düşünülmektedir. Bunun yanında yürütülen derslerde elektrik alanın vektörel gösterimine yeterince vurgu yapılamamasının da bu sonucu desteklediği düşünülmektedir. Bu nedenle bundan sonra yürütülecek çalışmalarda elektrik alanın ve vektör özelliklerinin ayrı ayrı değerlendirilerek vektörler ve elektrik alanla ilişkilendirilmesi önerilmektedir. Elektrik alan çizgileri anlatılırken yapılan en büyük hatalardan biri de alan çizgilerinin iki boyutlu çizilmesi ya da alan çizgilerinin üç boyutlu olduğunun belirtilmemesi gösterilebilir. Bu durumun önüne geçmek için en sade şekilde animasyon ve simülasyonlardan yararlanılması önerilmektedir. Ayrıca alan kavramı ve alan çizgilerinin aslında Faraday tarafından, uzaktan etkileşim modellerini açıklamak için oluşturulduğu vurgusu yapılarak bu modeller hakkında bilgi verilmesi elektrik alanın daha iyi anlaşılmasına öğretmen adaylarının zihinsel modellerinin gelişimine olumlu yönde katkı yapacağı düşünülmektedir.

Çıkar Beyanı

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

Destek Beyanı

Bu çalışma hiçbir kurum ya da kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Etik ile İlgili Hususlar

Yapılan bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümü olan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir. Çalışma kapsamında çalışmanın araştırılması, yazarlığı ya da yayınlanması aşamasında yazarlar tarafından yapay zeka destekli uygulamalardan faydalanılmamıştır.

Tablo 3. Etik kurul bilgileri

Etik değerlendirmeyi yapan kurul adı	: Gümüşhane Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu
Etik değerlendirme kararının tarihi	: 13/12/2023
Etik değerlendirme belgesi sayı numarası	: E-95674917-108.99-223646

Kaynakça

- Adrian, B. W., & Fuller, R. G. (1997). A qualitative investigation of college students' conceptions of electric fields. *Department of Physics and Astronomy, University of Nebraska*.
- Bilal, E., & Erol, M. (2009). Investigating students' conceptions of some electricity concepts. *Latin- American Journal of Physics Education*, 3(2), 193-201.
- Bradamante, F., Michelini, M., & Stefanel, A. (2006). Learning problems related to the concept of field. In *Frontiers of Fundamental Physics: Proceedings of the Sixth International Symposium “Frontiers of Fundamental and Computational Physics”, Udine, Italy, 26–29 September 2004* (pp. 367-379). Springer Netherlands.

- Chabay, R., & Sherwood, B. (2006). Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics*, 74, 329–336.
- Campos, E., & Zavala, G. (2017). A look into students' interpretation of electric field lines. In *Handbook of Research on Driving STEM Learning With Educational Technologies* (pp. 342-364). IGI Global.
- Campos E, Zavala G, Zuza K., & Guisasola J. (2019). Electric field lines: The implications of students' interpretation on their understanding of the concept of electric field and of the superposition principle. *American Journal of Physics*, 87(8), 660–667.
- Çepni, S. (2007). *Araştırma ve proje çalışmalarına giriş*. Trabzon: Celepler Matbaacılık.
- Demirci, N., & Çirkinoğlu, A. (2004). Öğrencilerin elektrik ve manyetizma konularında sahip oldukları ön bilgi ve kavram yanlışlarının belirlenmesi. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 1(2), 116-138.
- Demirçalı, S. (2016). *Modellemeye dayalı fen öğretiminin öğrencilerin akademik başarılarına, bilimsel süreç becerilerine ve zihinsel model gelişimlerine etkisi: 7. sınıf güneş sistemi ve ötesi-uzay bilmececi ünitesi örneği* [Yayınlanmamış doktora tezi]. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Fishbane, P.M., Gasiorowicz, S., & Thornton, S.T., 2003. *Temel Fizik Cilt 2*. Ankara: Arkadaş Yayınevi.
- Furio, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Goswami, M., & Parida, B.K. (2015). *Exploring students' thought processes involved in the interpretation of electric field lines*. EpiSTEME 6: Emerging Computational Media and Science Education, 15-18 December, TIFR, Mumbai.
- Harman, G., & Çökelez, A. (2016). 5. Sınıf Öğrencilerinin Elektrik Devreleri İle İlgili Zihinsel Modelleri. *Electronic Turkish Studies*, 11(3).
- Hekkenberg, A., Lemmer, M., & Dekkers, P. (2015). An analysis of teachers' concept confusion concerning electric and magnetic fields. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 19(1), 34-44.
- Hesse, M. B. (2005). *Forces and fields: The concept of action at a distance in the history of physics*. New York: Courier Corporation.
- Huberman, A. M. and Miles, M. B. (2002) *The qualitative researcher's companion*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Huang, Y., Yang, B. W., Adams, R., Howell, B., Zhang, J. Z., & Burbank, K. (2008). Teaching electromagnetic fields with computer visualization. *Strategies*, 1(2), 3.

- Ifenthaler, D. (2008). Practical solutions for the diagnosis of progressing mental models. *Understanding models for learning and instruction*, 43-61.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental models: An interdisciplinary synthesis of theory and methods. *Ecology and Society*, 16(1), 46.
- Jonassen, D., & Cho, Y. H. (2008). Externalizing mental models with mindtools. *Understanding models for learning and instruction*, 145-159.
- Karal, I.S., Alev, N., & Yiğit, N. (2009). Öğretmen Adaylarının Elektrikte Alan Bilgisi. *Education Sciences*, 4(4), 1450-1567.
- Karal, I. S., & Uzun, S. (2018). Fen bilimleri öğretmen adaylarının elektriksel alan tasvirleri. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 31(2), 481-505.
- Kurt, H. S., & Sarı, M. (2018). Metaphorical perceptions of physics teacher candidates about some concepts of electricity. *Erciyes Journal of Education*, 2(1), 64-90.
- Liu, S. C., & Lin, H. S. (2015). Exploring undergraduate students' mental models of the environment: Are they related to environmental affect and behavior? *The Journal of Environmental Education*, 46(1), 23-40.
- McNeil, S. (2015). Visualizing mental models: understanding cognitive change to support teaching and learning of multimedia design and development. *Educational Technology Research and Development*, 63(1), 73-96.
- MEB (2018). Ortaöğretim Fizik Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı. <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=351>, Erişim tarihi: 02.01.2024.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. London: Sage Publications.
- Pocovi, M. C., & Finley, F. (2002). Lines of force: Faraday's and students' views. *Science & Education*, 11(5), 459-474.
- Punch, K. F. (2005). Sosyal araştırmalara giriş: Nitel ve nicel yaklaşımlar (Çevirenler: D. Bayrak, B. Aslan ve Z. Akyüz). *Ankara: Siyasal Kitabevi*.
- Ramirez Montoya, M. S. (Ed.). (2017). *Handbook of research on driving STEM learning with educational technologies*. Hershey, PA, USA: IGI Global.
- Saarlinen, M., Laaksonen, A., & Hirvonen, P. E. (2007). Students' initial knowledge of electric and magnetic fields—more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions. *European Journal of Physics*, 28(1), 51.
- Sağlam, M., & Millar R. (2006). Upper high school students' understanding of electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 28(5), 543- 566.
- Scaife, T. M., & Heckler, A. F. (2011). Interference between electric and magnetic concepts in introductory physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(1), 010104.
- Serway, R. A., & Beichner, R. J. (2011). *Fen ve mühendislik için Fizik 2* (Çev. Çolakoğlu, K). Ankara: Palme Yayıncılık.

- Stains, M., & Sevia, H. (2015). Uncovering implicit assumptions: a large-scale study on students' mental models of diffusion. *Research in Science Education*, 45(6), 807-840.
- Şahin, E., & Yağbasan, R. (2012). Determining which introductory physics topics pre-service physics teachers have difficulty understanding and what accounts for these difficulties. *European Journal of Physics*, 33(2), 315.
- Taşkın, T., & Ünlü-Yavaş, P. (2020). Fizik öğretmen adaylarının elektrostatik dengedeki iletkenler ve elektrik alan çizimleri konusundaki bilgilerinin çizim yöntemiyle incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(1), 118-137.
- Törnkvist, S., Pettersson, K. A., & Tranströmer, G. (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*, 61, 335-335.
- Türkkan, E. (2017). Investigation of physics teacher candidates' cognitive structures about "electric field": A free word association test study. *Journal of Education and Training Studies*, 5(11), 146-156.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.
- Wolf, A. Van Hook, S. J., & Weeks, E. R. (1996). Electric field line diagrams don't work. *American Journal of Physics*, 64(6), 714-724.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2011). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yin, R. K. (1984). *Case Study Research: Design and Methods*. Beverly Hills CA USA: Sage Publications.
- Young, H. D., & Freedman, A. R. (2010). *Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği Cilt-2 (Çeviri Ed. Ünlü, H.), 12. baskı*, İstanbul: Pearson Education Yayıncılık.

EXTENDED SUMMARY

Introduction

Electricity and magnetism constitute a cornerstone in science and physics education across all levels, given their pivotal role in comprehending the world and elucidating modern technological advancements (Karal, Alev and Yiğit, 2009). However, when delving into the concept of the electric field within this domain, it becomes apparent that students often possess an incomplete understanding (Huang et al., 2008; Türkkan, 2017). Due to this deficiency and necessity, it has taken its place as one of the most basic subjects that form the structure of science and physics education curricula at all levels (Karal, Alev and Yiğit, 2009). Although electricity and magnetism include many sub-topics, it initially includes basic electrical information such as electrical force and electric field (Serway and Beichner, 2011). When the concept of electric field within the subject of electricity is examined, it is seen that it is incompletely learned by students (Huang et al., 2008; Şahin and Yağbasan, 2012; Türkkan, 2017). Yet grasping the field concept, which underpins electricity and magnetism, holds significance for comprehending subsequent sections (Chabay and Sherwood, 2006; Hesse, 2005). Furthermore, neglecting the vector representation of the electric field, a subtopic within the field concept, proves to be a block for students, complicating their comprehension (Karal & Uzun, 2018). Concepts such as electric force, field intensity, and field lines pertaining to the electric field tend to be combined by students (Karal and Uzun, 2018). A primary cause of this confusion lies in the inadequate emphasis on and utilization of vector concepts within electric and magnetic fields (Bilal & Erol, 2009; Pocovi & Finley, 2002). The invisibility of the field in explaining the electric field is a crucial detail in uncovering the mental models formed by students. As subjects progress, understanding these mental models becomes increasingly important (Taşkın & Ünlü Yavaş, 2020). It is believed that understanding how pre-service teachers conceptualize the field concept and vectorial representations of field lines will facilitate a better grasp of subsequent topics following the electric field (Taşkın & Ünlü Yavaş, 2020). Articles on electrical subjects generally aim to reveal electricity and magnetism together (Demirci and Çirkinoğlu, 2004), and in particular electric field knowledge (Karal and Uzun, 2018; Taşkın and Ünlü Yavaş, 2020; Karal, Alev, & Yiğit, 2009). In these, comprehension levels were determined using the electric field drawing method (Karal and Uzun, 2018; Taşkın and Ünlü Yavaş, 2020) and open-ended or multiple choice questions (Kurt and Sarı, 2018; Karal, Alev, & Yiğit, 2009). Applications that emphasize vector representation have not been found in Turkey. It is believed that prospective teachers' understanding of the concept of field and how they model field lines as vectors will help them better understand the topics that come after the electric field. Thus, this study aims to explore the mental models of pre-service teachers regarding the vectorial representation of the electric field for different charge distribution.

Methods

The study employed a holistic single-case design, focusing on a singular unit of analysis derived from case study designs. The research interventions were conducted after the completion of topics about the electric field within the General Physics-II course. Data on the Electrical Field Knowledge Scale (EFSS) were collected from a cohort comprising 181 pre-

service teachers, with 91 participants from the Elementary Mathematics Teacher Education program and 90 from the Science Teacher Education program. Additionally, interview data were gathered from 14 pre-service teachers. Vector representation of the electric field and related topics; electric field lines, the representation of the electric field vector on these lines, the direction of the electric field lines, the fact that the electric field lines are three-dimensional, the electric field lines not intersecting each other, the movement of charges in the electric field, the frequency of the electric field lines and the determination of the magnitude of the electric field (Fishbane, Gasiorowicz and Thornton, 2003; Serway and Beichner 2011; Young and Freedman, 2010). The EFSS comprised six questions, each addressing various aspects of the subject matter. To gain deeper insights into the responses of pre-service teachers, unstructured interviews were conducted with 14 volunteers. The EFSS study of each candidate participating in the interview was taken into consideration and the basis of the interview was conducted based on their own scales. During the interviews, the participants were asked in detail why the answer was chosen and why and how they made their choices were evaluated. The analysis of EFSS data aimed at revealing mental models was accomplished by analysing the responses of pre-service teachers to each question. The mental models were categorized into three types based on the framework proposed by Vosniadou and Brewer (1994): scientific models, synthesis models, and primitive models. Scientific models represent responses aligned with established scientific knowledge, whereas synthesis models exhibit partial alignment or divergence from scientific understanding. Primitive models include responses rooted in misconceptions or lacking correspondence with scientific principles. Descriptive analysis was employed to interpret the interview data.

Results

In the first question, the analysis revealed that 19 pre-service teachers fell into the primitive model category, 42 into the synthesis model, and 120 into the scientific model regarding the electric field formed by point charges. In this question, errors predominantly stemmed from incorrectly stating the direction of the electric field in the synthesis model or drawing the electric field lines inaccurately. Moving to the second question, findings showed 40 pre-service teachers in the primitive model, 93 in the synthesis model, and 48 in the scientific model concerning mental models of electric field lines formed between charged plates. For the third question concerning the motion of charges in the electric field, 76 pre-service teachers exhibited a primitive model, 14 a synthesis model, and 91 a scientific model. In the synthesis model, although some pre-service teachers correctly determined and explained the direction of charges, others displayed inaccuracies in their responses. Regarding the fourth question about the frequency of electric field lines and the tangency of the electric field to the field line, 81 pre-service teachers were categorized under the primitive model, 91 under the synthesis model, and 9 under the scientific model. While those in the synthesis model accurately ordered the magnitude of the electric field, they demonstrated an incomplete or erroneous understanding regarding the tangency of the electric field to the electric field line. In the fifth question addressing the three-dimensionality of the electric field, 63 pre-service teachers were classified in the primitive model, 92 in the synthesis model, and 26 in the scientific model. In the synthesis model, participants commonly depicted electric field lines in only two dimensions. Lastly, in the sixth question, which pertained to properties of electric field lines, such as non-intersection

and absence of sudden curves, 67 pre-service teachers were associated with the primitive model, 91 with the synthesis model, and 23 with the scientific model. Those in the primitive model struggled to identify both properties, whereas participants in the synthesis model erroneously suggested only the absence of sudden curves as erroneous.

Discussion and Conclusion

This study explores the mental models of pre-service teachers who completed the electric field topic in the General Physics II course, particularly focusing on their grasp of the vectorial representation of the electric field. The findings revealed varying levels of understanding among pre-service teachers regarding different aspects of the electric field. Notably, many participants struggled to fully embrace key features such as the tangent nature of electric field vectors to the electric field lines, the three-dimensional aspect of electric field lines, the dynamics of charges within the electric field, and the non-intersecting and unbroken nature of electric field lines, thus retaining primitive mental models. According to Campos et al. (2019) and Campos and Zavala (2017), the creation of electric field line diagrams emerges as a crucial method for understanding the electric field. Similarly, Ramirez Montoya (2017) highlights that students utilize electric field lines as a tool for interpreting the electric field. Despite pre-service teachers initially encountering minimal difficulties with the basic vectorial properties of the electric field, they have numerous misconceptions and incomplete, and erroneous ideas as topics progress. These shortcomings seem rooted in challenges reconciling and correlating both vectorial and electric field properties. Furthermore, the lack of emphasis on the vectorial representation of the electric field during lessons likely exacerbates these issues. Hence, it is suggested that future studies evaluate the electric field and vector properties separately and then link them to vectors and the electric field. A common error in explaining electric field lines is representing them in two dimensions or failing to acknowledge their three-dimensional nature. Moreover, providing context about these models by emphasizing that Faraday initially conceived the field concept and field lines to elucidate remote interaction models may positively contribute to enhancing prospective teachers' mental models and comprehension of the electric field.