

Birinci Sınıf Biyoloji ve Kimya Öğretmen Adaylarının Modern Genetiğe İlişkin Kavramsal Anlama Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Assessing Modern Genetic Conceptual Understanding Levels of First-Year Biology and Chemistry Pre-Service Teachers

Nazlı Ruya TAŞKIN BEDİZEL¹

¹Dr., Balıkesir Üniversitesi, nazliruya@balikesir.edu.tr, (<https://orcid.org/0000-0001-6027-719x>)

Geliş Tarihi: 03.05.2023

Kabul Tarihi: 15.08.2023

ÖZ

Bu çalışma, birinci sınıf biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının modern genetiğe ilişkin kavramsal anlama düzeylerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, betimleyici tarama modeli kullanılmıştır. Çalışmanın katılımcılarını 18'i biyoloji ve 16'sı kimya olmak üzere toplam 34 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Çalışmada, veri toplama aracı olarak Duncan ve diğerleri (2009) tarafından geliştirilen modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesine dayalı "Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testi" kullanılmıştır. Modern Genetik Öğrenme Progresyonu çerçevesi, modern genetiğe ilişkin 16 yapıdan oluşacak şekilde ele alınmıştır. Kullanılan testte yer alan maddeler bilimsel akıl yürütmeden mevcut olmayan akıl yürütmeye kadar beş seviyede puanlanmıştır. Katılımcılardan elde edilen veriler, modern genetik anlama düzeylerini belirlemek için hem nicel hem de nitel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular katılımcıların B (bilgi kaynağı olarak genler), C1 (Proteinler hücrenin işlerini yapar), E (genetik materyalin fiziksel geçişi) ve F1 (genotip fenotip arasındaki ilişki) yapılarında kavramsal anlama düzeylerinin en yüksek olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, A1 (Genetik bilginin evrenselliği), D (Hücreler farklı genleri ifade eder), F2 (olasılığa dayalı örüntüler), F3 (Moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki) ve J (Bir organizmanın yaşamı boyunca gen ifadesi değişebilir) yapılarına yönelik kavramsal anlama düzeylerinin ise oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar birinci sınıf öğretmen adaylarının moleküler, genetik ve mayotik modeller arasındaki ilişkiyi anlamakta zorlandıklarına işaret etmekte ve genetik ile ilgili bilimsel olarak akıl yürütebilmek için bu modeller arasındaki ilişkiyi anlamaları gerektiğini öne sürmektedir. Çalışma, geleceğin biyoloji ve kimya öğretmenlerini modern genetik anlamında daha iyi hazırlamak için, moleküler genetik kavramlarının erken tanıtılmasının, öğretim programının gözden geçirilmesinin, genetik determinizme değinmenin ve günlük yaşam bağlamlarına dayalı öğretimin önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Modern genetik bilgisi, öğrenme progresyonları, kavramsal anlama, öğretmen adayları, genetik eğitimi.

ABSTRACT

This study aims to assess the conceptual understanding levels of first-grade biology and chemistry pre-service teachers regarding modern genetics. In the study, a descriptive survey model was employed. The participants of the study consisted of a total of 34 teacher candidates, 18 in biology and 16 in chemistry. As the data collection tool, the "Multiple-Choice Modern Genetics Test" based on the Modern Genetics Learning Progression framework developed by Duncan et al. (2009) was used. The Modern Genetics Learning Progression framework was structured around 16 constructs related to modern genetics. The items in the test were scored at five levels, ranging from basic scientific reasoning to non-scientific reasoning. The data obtained from the participants were analyzed both quantitatively and qualitatively to determine their levels of understanding in modern genetics. The findings revealed that the participants had the highest conceptual understanding levels in constructs B (genes as information), C1 (proteins do the work of

the cell), E (physical transmission of genetic material), and F1 (relationship between genotype and phenotype). However, the conceptual understanding levels were found to be quite low for constructs A1 (universality of genetic information), D (cells express different genes), F2 (probabilistic patterns), F3 (relationship between molecular and Mendelian models), and J (gene expression can change during an organism's life span). The results suggest that first-grade pre-service teachers in the study struggle to comprehend the relationship between molecular, genetic, and meiotic models, highlighting the necessity for them to understand these relationships in order to engage in scientific reasoning about genetics. The study emphasizes the importance of early introduction of molecular genetic concepts, revising the curriculum, addressing genetic determinism, and incorporating instruction based on everyday life contexts to better prepare future biology and chemistry teachers in the realm of modern genetics.

Keywords: Modern genetics knowledge, learning progressions, conceptual understanding, pre-service teachers, genetics education.

GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin ilerlemesi neticesinde, genetik, hızla gelişerek sağlık, tarım, teknoloji gibi pek çok alanda insan yaşamı için birçok avantaj sunan bir bilim haline gelmektedir. Genetik bilgisi ile, bilim insanları hastalıkları erkenden önleyebilecek ilaçlar veya tedaviler üretebilir, belirli bir hastalık için risk oluşturan genleri belirleyebilir, insanların biyolojik ebeveynlerini veya çocuklarını tanımlayabilir ve hatta suçluların yakalanmasına yardımcı olabilirler (Rusmana vd., 2021). Ayrıca, evrim ve gelişme gibi diğer önemli biyolojik kavramları anlamak için de genetik ilkeleri anlamak gereklidir. Genetik bilgisi; üreme teknolojisi, klonlama, kök hücreler, genetik testler ve organizma genetik modifikasyon dahil olmak üzere daha geniş biyomedikal, teknik ve sosyo-bilimsel konularda politika kararları hakkında da bilgi vermektedir. Bu durumlar, çeşitli alanlar için genetiğin merkezi bir çalışma konusu olmasını sağlamakta ve günlük yaşamdaki önemine dikkat çekmektedir (Kiliç & Sağlam, 2014; Knippels vd., 2005).

Genetik, biyoloji eğitimi alanında, öğrenci ve öğretmenlerin kavramsal anlayışlarının ölçüldüğü en önemli alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Ancak, genetiğin karmaşık doğası birçok öğrencinin konunun çeşitli yönleri ile mücadele etmesine neden olmaktadır. 1980'lerden bu yana birçok araştırmacı, öğrencilerin genetikle ilgili aldıkları eğitimin onları gelecekteki yaşamlarına hazırlayıp hazırlamadığına ilişkin çalışmalar yapmaktadır (Machova & Ehler, 2021). Bu araştırmalar, ilkokuldan üniversiteye kadar her kademede öğrencinin genetik konusunda pek çok kavram yanılgısına sahip olduğunu ve genetiği derinlemesine anlayamadığını göstermektedir (Banet & Ayuso, 2000; Casanoves vd., 2015; Güngör & Özkan, 2017; Lewis vd., 2000; Marbach-Ad & Stavy, 2000; Tsui & Treagust, 2003; Smith & Knight, 2012; Venville & Treagust, 1998). Özellikle öğretmen adaylarının genetik konularında zorlandığı kavramlar incelendiğinde, çeşitli kavramların öne çıktığı görülmektedir. Örneğin, Öztekin, Çapa Aydın ve Yılmaz Tüzün (2000) biyoloji öğretmeni adaylarıyla yaptıkları çalışmada, adayların gen, alel gibi kavramlara ait yanılgılarının yanı sıra çaprazlama yapabilme, model geliştirebilme ve gen-kromozom ilişkisi kurabilme gibi temalarda da zorluklar yaşadığına dikkat çekmektedirler. Başka bir çalışmada ise sınıf, okul öncesi, biyoloji ve fen bilgisi öğretmenliği alanlarında öğrenim gören öğretmen adaylarının DNA, gen, kromozom, nükleotit, mitoz bölünme, mayoz bölünme, mutasyon ve modifikasyon gibi temel kavramları yorumlayıp bu kavramlar arasında ilişki kurmada zorlandıkları belirtilmektedir (Erdoğan vd., 2014). Casanoves arkadaşlarının (2015) yaptığı çalışmaya katılan öğretmen adaylarının ise, genetik bilgi ile genetik materyal arasındaki farkı ve aynı genetik bilginin canlı bir organizmanın tüm hücrelerinde bulunduğunu anlamakta zorluk çektiği görülmüştür. Etobro ve Banjoko (2017) ise yaptıkları çalışmada 120 biyoloji öğretmen adayının %75'inin genetik konularıyla ilgili kavram yanılgılarına sahip olduğunu ve alel kavramını gen kavramının yerine kullandıklarını belirtmektedirler. Bu araştırmacılar ayrıca biyoloji öğretmen adaylarının hücre bölünmesi, kromozom, DNA, gen ve Mendel Genetiği olmak üzere beş temel alanda kavram yanılgısına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Duncan ve diğerleri (2009), modern genetiğin öğrenilmesinin neden zor olduğuna ilişkin üç ana sebep göstermektedirler. Buna göre ilk sebep, modern genetikte akıl yürütmenin, moleküler düzeydeki kimyasal ve fiziksel etkileşimleri anlamayı gerektirmesi ve bu durumun alana disiplinler arası bir boyut

katmasıdır. Bu doğrultuda, biyolojik moleküllerin kimyasal doğasını, atomlar ve moleküllere ilişkin temel bilgileri kavrayamamış öğrenciler için bu durum disiplinler arası bir zorluk oluşturmaktadır. İkinci olarak, hücresel ve moleküler süreçler ve varlıklar gözle görünmez olduğundan öğrencilerin bunu deneylerle kavramasının zor olduğunu belirtmektedirler. Üçüncü olarak ise, genlerin hücre, doku, organ ve organizma düzeylerindeki etkisinin nasıl ortaya çıktığını açıklamanın çoklu organizasyon düzeyinde akıl yürütme gerektirdiğini vurgulamaktadırlar. Genetiğin doğasından kaynaklı bu öğrenme zorluklarına ek olarak, Mamombe, Kazeni ve Villiers (2016) genetik öğrenirken ve öğretirken tercih edilen bağlamların da göz önüne alınması gerektiğini düşünmektedirler. Buna göre, eğitimciler genetik kavramlarını etkili bir şekilde geliştirmek için sosyal/toplumsal alanlardaki bağlamların en uygun ve ilginç olduğunu düşünmektedir. Öğrenciler ise kişisel alan bağlamlarını en uygun ve ilgi çekici olarak gördüğünden bu karşıtlık genetik öğrenmede karşılaşılan zorluklar arasında değerlendirilmektedir. Kalıtımın ilkeleri olarak karşımıza çıkan Mendel genetiği biyoloji eğitiminde oldukça önemli bir yere sahip olmasına rağmen, bu ilkelerin moleküler biyoloji olguları ile bağlantılı olarak öğretilmesinin zor olması da genetiğin bütüncül bir resminin çizilememesi anlamına gelmektedir (Wolyniak, 2013). Hem bilimsel hem de sosyal alanda genetiğin önemi ve öğrencilerin karşılaştığı zorluklar göz önüne alındığında, genetik bilgisini öğretmek ve uygulamak için eğitimcilerin daha iyi planlama yapmaları, müfredatı düzenlemeleri ve genetik okuryazarlığını artırmak için öğretimi uyarlamaları önem taşımaktadır (Tornabene, 2018).

Araştırmalar (Alonzo, 2012; Schneider & Plasman, 2011; von Aufschnaiter vd., 2015; Vosniadou, 2019), öğretmen adaylarının fen eğitiminde merkezi bir öneme sahip konulardaki anlayışlarının kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve ilgili zorlukların aşılması için bazı çerçevelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Son yıllarda, fen eğitimi araştırmacıları, "Öğrenme Progresyonları" yaklaşımına odaklanarak, öğrencilerin temel bilimsel kavramlara, açıklamalara ve ilgili bilimsel uygulamalara ilişkin anlayışlarının ve becerilerinin zamanla nasıl ilerlediğini gösteren deneysel temelli ve test edilebilir hipotezler geliştirmişlerdir (Duschl vd., 2007). Bu yaklaşım, öğretmenlere öğrencilerin nerede olduklarını ve nereye ilerlediklerini göstererek üretken olabilecek noktaları tespit etmelerine ve geniş çaplı bir görüş sağlamalarına yardımcı olmaktadır (Alonzo, 2011). Biyolojideki kritik alanlardan biri olan modern genetik alanında, üç öğrenme progresyonu çerçevesi geliştirilmiştir: (1) Duncan vd., 2009; (2) Elmesky, 2012; (3) Roseman vd., 2006. Bunlardan Duncan ve diğerlerinin (2009) Modern Genetik Öğrenme Progresyonu, en kapsamlı şekilde geliştirilen, uygulanan ve yenilenen çerçeve olarak bilinmektedir. Modern Genetik Öğrenme Progresyonu'nun ilk versiyonu 5.-10. Sınıflar için geliştirilmiş olup 2 büyük fikir ve 8 yapı (A, B, C, D, E, F, G, H) (yapıların açıklamaları için bkz Tablo 1) yer almaktadır. Buna göre progresyonda yer alan birinci büyük fikir A, B, C ve D yapılarını kapsamakta ve "*Bütün organizmalar evrensel ve yaşamın işlevlerini yürüten molekülleri niteleyen genetik bilgiye sahiptir. Tüm hücreler aynı bilgiye sahip olmakla birlikte, hücreler hangi bilginin kullanacağını (ifade edileceğini) düzenleyebilir*" şeklinde ifade edilmektedir. İkinci büyük fikir ise E, F, G ve H yapılarını kapsamakta "*Jenerasyonlar arasında gen transferi örüntüleri vardır. Hücresel ve moleküler mekanizmalar bu örüntüleri yönlendirerek genetik varyasyona sebep olurlar. Çevre genetik özyapımızla (makeup) etkileşerek varyasyona kılavuzluk eder*" şeklindedir. Üç seviyede geliştirilen bu versiyondaki birinci seviye 5. ve 6. sınıfların, 2.seviye 7. ve 8.sınıfların, 3. seviye ise 9. ve 10. sınıfların hipotetik modern genetik anlayışlarını temsil etmektedir.

Modern Genetik Öğrenme Progresyonu genetik okuryazarlığını belirleyen üç modeli (genetik model, mayotik model ve moleküler model) anlayabilme ve entegre edebilme yeteneğine odaklanmaktadır. Stewart ve diğerleri tarafından (2005) öne sürülen bu üç modelin ilki olan, genetik model (Mendel, klasik veya transmisyon genetiği olarak da bilinir), genlerin nesiller boyunca nasıl aktarıldığını anlamak için eşey hücreleri aracılığıyla aktarımının incelenmesini içermektedir. İkinci model olan mayotik model, genetik bilginin bir nesilden diğerine aktarılmasının temeli olan genlerin hücresel süreçlerini açıklamaktadır. Üçüncü olarak ise, moleküler genetik model, genlerin proteinleri kodladığı süreçleri, proteinlerin özelliklerini ve bunların bireyin fenotipini nasıl belirlediğini anlamayı içermektedir. Bu modellerin entegrasyonu, genlerin farklı formlarının (allel) moleküler talimatlar olduğunun anlaşılmasını içermektedir. Buna göre, bazı yapılar sadece bir modele odaklanırken, diğer yapılar ise modellerin entegrasyonunu içeren öğrenme performanslarını içermektedir. Örneğin, A-D yapıları moleküler modele

odaklanırken, E ve F yapıları temelde genetik modele yüksek seviyelerde ise genetik-mayotik ve genetik-moleküler modellerin entegrasyonuna odaklanabilmektedir. Modern Genetik Öğrenme Progresyonu, DNA yapısı ve işlevi ile Mendel kalıtımının incelenmesi için bir bağlam sunarak, temel kalıtım ile moleküler süreçleri ilişkilendirmektedir. Bu sayede öğrenciler, tıbbi ve politik konular hakkında tartışmalara etkili bir şekilde katılabilecekleri ve kritik kararlar alma yeteneği kazanabilecekleri alanların bilgisinin farkına varabilmektedir.

Genetik, toplumun bir parçası olan bireylerin sosyobilimsel açıdan birçok kararı vermek zorunda kalabilecekleri ve bu süreçte öğrendiklerini kullanmaları gerektirecek bir alandır (Uzun ve Sağlam, 2003; Tatar ve Koray, 2005; Karagöz ve Çakır, 2011). Ancak, mesleğe atılacak öğretmen adaylarının genetik gibi hızla evrilen ve sürekli yeni keşiflerin yapıldığı kritik alanlarda kavram yanılgılarına ve bilgi eksikliklerine sahip olmaları, bu konuları kendi öğrencilerine etkin ve uygun şekilde öğretmesini de zorlaştıracaktır (Çakır & Aldemir, 2011). Bu bağlamda hem biyoloji öğretmeni adaylarının hem de kimya öğretmeni adaylarının da bu süreçlerin moleküler temelini anlamaları önem kazanmaktadır. Canlı organizmalardaki kimyasal süreçlerin çoğunluğunun genler ve proteinler tarafından kontrol edildiği düşünüldüğünde. DNA, RNA ve proteinlerin yanı sıra replikasyon, transkripsiyon ve translasyon süreçlerine de hakim olabilen öğretmenler genetiğin temel kavramlarını daha etkili bir şekilde açıklayabilir ve öğrencilerin kalıtımın ve gen ifadesinin altında yatan mekanizmaları anlamalarına yardımcı olabilir (Jones vd., 2005). Genetik kimya ve bilgisayar bilimleri gibi pek çok diğer bilimsel disiplinle yakından ilişkili olduğundan moleküler genetiğin ilkelerinin anlaşılması bu disiplinlerin kimya öğretimine entegrasyonunu artırabilir. Moleküler genetiği kimya eğitimine dahil ederek, öğretmenler öğrencileri için daha ilgi çekici ve etkileşimli öğrenme deneyimleri yaratabilirler (Aliyu & Talib, 2019). Ayrıca modern genetiğin öğretmen yetiştirme programlarına entegre edilerek gerçek dünya problemlerinin öğretmen adaylarına sunulması kimya deneylerinin ve sorgulamaya dayalı laboratuvarların etkili bir şekilde öğretilmesini ve geleceğin kimya öğretmenlerinin gerekli yeterliliklerle donatılmasını sağlayabilir. Dahası modern genetik bilgisine sahip olmak öğretmenlerin pedagojik alan bilgilerinin (PAB) de gelişimine katkıda bulunabilir (Bae vd., 2021). Öğretmenler, moleküler genetikteki en son gelişmelerden haberdar olarak öğrencilerine, çeşitli endüstrilerdeki genetiğin mevcut eğilimleri ve uygulamaları hakkında fikir verebilirler. Bu bilgi, öğrencilere bilimsel araştırma veya ilgili alanlarda kariyer yapma konusunda ilham verebilir (Rodriguez-Becerra vd, 2020).

Türkiye Lise biyoloji dersi öğretim programlarında (MEB 2013, 2018a, b) modern genetiğe ilişkin kazanımlar 9., 10. ve 12. sınıflarda yer aldığından, bu konulara ilişkin kavramsal anlayışın bütüncül ve ilişkili bir şekilde belirlenmesi de zor olabilmektedir. Ayrıca, modern genetiğe yönelik anlayışa temel oluşturabilecek konular, örneğin gen ifadesi, epigenetik gibi, lise biyoloji öğretim programında (MEB, 2013) yer almamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, modern genetik öğrenme progresyonu biyoloji ve biyokimyanın temel alanlarını içeren ve öğretim programında yer almayan anlayışları da içeren kapsamlı bir çerçeve olarak kullanılmıştır. Çalışma, üniversite eğitiminin ilk yılında olan ve genel biyoloji dersleri alan biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının kavramsal anlayışlarını değerlendirerek, modern genetik alanında geleceğin öğretmenlerinin ön bilgilerine ve anlayışlarına ışık tutmaktadır. Bu bilgi, geleceğin biyoloji ve kimya öğretmenlerinin hazırlanmasında güçlü ve geliştirilmesi gereken alanların belirlenmesine yardımcı olduğundan, öğretmen eğitimi programları ve müfredat geliştirme için değerlidir. Çalışma ayrıca, geleceğin öğretmenlerinin bu kavramları etkili bir şekilde öğretmek için iyi donanımlı olmalarını sağlamak için modern genetik konularını öğretim programına ve öğretim uygulamalarına dahil etmenin önemini vurgulamaktadır. Çalışmada değerlendirme, modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesi (Duncan vd., 2009) temel alınarak yapılacaktır. Bu doğrultuda, çalışmada aşağıdaki araştırma sorusuna yanıt aranacaktır:

- Biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinde yer alan 16 yapıyla (A-J) ilgili kavramsal anlama düzeyleri nasıldır?

YÖNTEM

2.1 Araştırma Modeli, Çalışma Grubu ve Bağlam

Bu çalışmada betimsel tarama modeli kullanılmıştır. Bu yöntem, geçmişte ya da şu an var olan bir durumu ya da olayı kendi koşulları içerisinde, herhangi bir değişiklik yapmadan betimlemeyi amaç edinir (Karasar, 2016). Ayrıca bu yöntem, bazı durumlar arasındaki ilişkileri belirlemek ya da karşılaştırmak amacıyla da kullanılır (Büyüköztürk vd., 2016). Çalışmaya katılan toplam 34 birinci sınıf öğretmen adayından 18'i biyoloji (12 kadın, 6 erkek) ve 16'sı kimya (12 kadın, 4 erkek) öğretmen adaydır. Bu öğretmen adayları, Türkiye'nin kuzeybatısındaki bir büyükşehirde bulunan bir üniversitede öğrenim görmektedir. Biyoloji dersi, Türkiye lise programlarında 9. ve 10. Sınıflarda zorunlu ders olarak bulunmakta, 10. ve 11. Sınıflarda ise biyoloji sadece Fen Bilimleri Alanını seçen öğrenciler tarafından alınmaktadır. Bu bağlamda çalışmada katılımcı olarak yer alan öğretmen adaylarının hepsi 12. Sınıfta biyoloji dersini almış olma ve üniversite birinci sınıfta genel biyoloji dersi alma ölçütlerine göre seçilmiştir.

Çalışmanın verileri, her iki grupta da 2018-2019 eğitim öğretim yılı güz yarıyılında başında biyoloji öğretmen adayları Genel Biyoloji 1 dersine başlamadan önce toplanmıştır. Kimya öğretmen adayları ise Genel Biyoloji dersini bahar döneminde almaktadırlar. Öğretmen adaylarının tümü, lise öğrenimleri sırasında 2013 yılında yeniden geliştirilen ve 2013-2014 eğitim öğretim yılından itibaren uygulanmak üzere yürürlüğe giren Ortaöğretim Biyoloji Dersi (9, 10, 11 ve 12. sınıflar) Öğretim Programı (MEB, 2013) kapsamında biyoloji öğrenimi görmüştür. Çalışmada ele alınan modern genetik öğrenme programının kazanımları, 9. sınıf "Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler", 10. sınıf "Üreme" ve "Kalıtımın Temel İlkeleri", 12. sınıf "Genden Proteine" ve "Hayatın Başlangıcı ve Evrim" ünitelerinin kapsamında yer almıştır. Genetik konuları, çalışmanın gerçekleştirildiği fakültede Genel Biyoloji 2 dersinin kapsamında yer aldığı için, çalışmaya katılan öğretmen adaylarının ön bilgilerinin lise düzeyinde ve birbirine yakın olduğu varsayılmıştır.

2.2 Veri Toplama Aracının Tasarlanması

Çalışmanın veri toplama aracı olan "Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testi" yazarın doktora çalışmasının (Yazar, 2018) örneklemini oluşturan 26 son sınıf öğretmen adayının Biçimlendirici Değerlendirme Tasarlama Döngüsü (BDTD) (Furtak vd., 2016; Furtak & Heredia, 2016) adımlarını izleyerek modern genetik sondaları şeklinde tasarladıkları maddelerden oluşmaktadır. Bu sondalar biçimlendirici değerlendirme sondaları hazırlamaya yönelik bir çerçeveye (Formative Queries for the High School Biology Classroom; Beattie, 2012) uygun şekilde tasarlanmıştır. Bu çerçevede; ilgili yapının temel fikri, lise biyoloji öğretim programında konuya ilişkin kazanımlar, ilgili kavram yanlışlığı araştırmaları, konuya ilişkin temel bilgiler, maddenin kendisi ve doğru cevabın açıklanması ile hangi şıkkın ve açıklamanın hangi akıl yürütme seviyesine denk geldiğine ilişkin açıklamalar yer almaktadır. Son sınıf öğretmen adayları BDTD sürecinde Modern Genetik Öğrenme Progresyonu'nu (Duncan vd., 2009) rehber olarak kullanmışlardır. Süreç öğretmen adaylarının modern genetik alanını keşfetmesine odaklanan beş adımdan oluşmaktadır. İlk adımda (Adım 1: Öğrenci Fikirlerini Keşfet) biyoloji öğretmen adayları, modern genetik öğrenme progresyonuna dayalı öğrenci fikirlerini keşfetmek için öğrencilerin konuyla ilgili olası ön bilgilerini, kavram yanlışlıklarını ve öğrenme zorluklarını belirlemeye çalışmışlardır. Konuyla ilgili fikirleri, yanlışlıkları ve öğrenme zorluklarını içeren fikirleri belirlemek amacıyla küçük gruplarda çalışarak İçerik Gösterimleri (CoReS) (Loughran, Mulhall, & Berry, 2004) oluşturmuşlardır. İkinci adımda (Adım 2: Görevleri Tasarla) bu içerik gösterimlerini kullanarak öğrenme progresyonunun her bir yapısı için biçimlendirici değerlendirme sondaları tasarlamaya odaklanmışlardır. Bir sonraki adımda (Adım 3: Görevleri Uygulama Pratiği yap) tasarladıkları sondaları grup içinde beyin fırtınası yaparak tartışmışlar, sonrasında ise (Adım 4: Görevleri Uygula) bu sondaları lise öğrencilerine uygulayarak veri toplamışlardır. Beşinci ve son adımda ise (Adım: 5 Uygulamayı Değerlendirme) son sınıf biyoloji öğretmen adayları uyguladıkları sondaları analiz ederek değerlendirmişlerdir.

Son sınıf öğretmen adayları BDTD adımlarını izleyerek farklı yapılarla eşleşen toplam 24 madde tasarlamışlardır. Maddelerin her biri bir yapı ile eşleştirilmiş ve Sıralı Çoktan Seçmeli (Ordered-Multiple Choice-OMC) (Briggs vd., 2006) formatta tasarlanmıştır. Ayrıca her soru, seçeneğin seçilme nedeninin açıklanmasını isteyen bir açıklama bölümü içermektedir. Soruların tasarımı sırasında, Duncan ve diğerleri (2017) tarafından ifade edildiği gibi, dörtten fazla seçenek olmasının hem tasarlama hem de kavrama düzeyleri arasındaki farkı ayırt etme açısından zorluk yarattığı belirtilerek öğretmen adaylarından her bir soruyu dört seçenekli olacak şekilde tasarımları istenmiştir. Tasarlanan 24 maddenin modern genetik öğrenme progresyonunun yapıları ile eşleştirilmesi için bir biyoloji öğretmeni ve bir biyoloji eğitimi uzmanı ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Modern Genetik Öğrenme Progresyonu'nun ilk versiyonunda 8 yapı (A, B, C, D, E, F, G, H) bulunmasına rağmen Ravit Duncan ile yapılan e-posta görüşmeleri (03.09.2015) ve Todd & Romine (2016) ile Todd, Romine ve Correa-Menendez (2019) tarafından yapılan çalışmaların gözden geçirilmesi sonucunda bu çalışmada 16 yapı olacak şekilde kullanılmasına ve Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testi'nde 16 maddenin yer almasına karar verilmiştir. Bu 16 madde 21 kişilik bir biyoloji öğretmeni grubu ile test edilmiş ve gözden geçirilerek bu çalışmada kullanılan son halleri verilmiştir. Tablo 1'de B yapısına ait bir sorunun son sınıf biyoloji öğretmenleri tarafından tasarlanan hali ile gözden geçirilmiş halinin karşılaştırılması örnek olarak sunulmuştur.

Tablo 1

B yapısına ait sorunun ilk versiyonu ve gözden geçirilmiş versiyonu

B yapısına ait sorunun son sınıf biyoloji öğretmeni adayları tarafından hazırlanmış versiyonu	B yapısına ait sorunun Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testinde yer alan versiyonu
<p>Bir canlıda bulunan genetik bilgi o canlının tüm hücrelerinde vardır. Ancak hücrenin özelliğine göre bazı genler bazı hücrelerde çalışmaz yani atıl durumdadır. Midedeki hücrelerde bulunan genler besinleri sindirmek için enzim sentezlerken, aynı gen gözdeki hücrelerde de bulunmasına rağmen start kodon diye adlandırılan AUG start kodonu bulundurmadığı için gözde çalışmaz. Aşağıdaki ifadelerden hangisi bu durumu en iyi açıklamaktadır?</p> <p>A. AUG start kodonu sadece midede işlevsel halde olduğu için midede çalışıp, gözde çalışmaz.</p> <p>B. Genler DNA sarmalının belirli bölgelerindedir. Bundan dolayı her yerde aktif olamazlar.</p> <p>C. DNA zinciri üzerindeki genler mutasyona uğrayıp, hasar görmüştür.</p> <p>D. Hücrelerdeki genler özelleşmiş olduğu için her gen her hücrede görev almaz.</p>	<p>Bir canlının sahip olduğu genetik bilgi o canlının tüm hücrelerinde aynıdır. Buna rağmen örneğin mide hücrelerinde bulunan genler besinleri sindirmek için enzim sentezlerken, aynı gen gözdeki hücrelerde de bulunmasına rağmen start kodon diye adlandırılan AUG start kodonu bulundurmadığı için gözde çalışmaz ve gözdeki hücreler besinleri sindirmek için benzer enzimleri salgılayamaz. Bu açıklamaya göre aşağıdaki ifadelerden hangisi bu durumu en iyi açıklamaktadır?</p> <p>A. AUG start kodonu sadece midede işlevsel halde olduğu için midede çalışıp, gözde çalışmaz.</p> <p>B. Genler DNA sarmalının belirli bölgelerindedir. Bundan dolayı her yerde aktif olamazlar.</p> <p>C. DNA zinciri üzerindeki genler mutasyona uğrayıp, hasar gördüğü için bazı genler bazı hücrelerde çalışmaz.</p> <p>D. Genler hücrenin fonksiyonuna uygun şekilde özelleşmiş olduğu için bazı genler bazı hücrelerde çalışmaz yani pasif durumdadır.</p>

Tablo 1'de görüldüğü üzere B yapısına ait soruda öğretmen adaylarının soru için yazdığı açıklama kısmında sorunun özü korunarak cümleler daha anlaşılır hale getirilmiştir. Şıklarda ise A ve B şıkları aynen bırakılmış C ve D şıkları sorunun amacına uygun bir biçimde daha detaylı hale getirilmiştir. Bu durum hemen hemen tüm maddeler için geçerlidir. Yani maddeler gözden geçirilirken öğretmen adaylarının tasarladığı soruların özü korunmuş, sadece detaylandırma ve açıklama amacı ile gerek görülen değişiklikler yapılmıştır.

Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testinde yer alan 16 madde öncelikle üç model ile (genetik, mayotik ve moleküler) eşleştirilmiştir. Ayrıca maddelerin Türkiye Ortaöğretim Biyoloji Dersi Öğretim Programında (MEB, 2013) yer alan ünite ve konular ile olası eşleştirilmesi de yapılmıştır. Bu eşleştirmeler ile teste ilişkin diğer açıklamalar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2**Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testinin Özellikleri**

Madde No	Model	Yapı	Yapı Açıklaması	Madde Açıklaması	Olası Sınıf-Ünite-Konu	
1		A	A1	Genetik bilginin evrenselliği	Örümcek ipek lifinin keçilere aktarılması	12.1.2. Genetik şifre ve Protein Sentezi
2			A2	Hiyerarşik organizasyon	DNA, gen, protein, nükleotid kavramlarının büyüklük küçüklük ilişkisi	9.1.3. Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler 9.2.1. Canlılığın Temel Birimi Hücre 10.1.1. Mitoz ve Eşeysiz Üreme 12.1.1. Nükleik Asitlerin Keşfi ve Önemi
3			A3	Replikasyon	DNA yarı korunumlu eşlenmeseydi ne olurdu?	9.1.3. Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler 12.1.1. Nükleik Asitlerin Keşfi ve Önemi
4		B	B	Bilgi kaynağı olarak genler (Genler proteinleri kodlar)	Duchenne Kas Distrofisi	9.1.3. Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler 12.1.2. Genetik Şifre ve Protein Sentezi
5		C1	C1	Protein fonksiyonları (proteinler hücrenin işlerini yapar)	Mide hücreindeki genler göz hücresinde niye çalışmaz?	9.1.3. Canlıların Yapısında Bulunan Temel Bileşikler 12.1.2. Genetik Şifre ve Protein Sentezi
6	Moleküler Model	C2	C2	Protein yapı ve fonksiyonu (Proteinler, genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağlar)	Protein yapı ve fonksiyonları ile ilgili ifadeler	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik 12.1.2. Genetik Şifre ve Protein Sentezi
7		D	D	Hücreler farklı genleri ifade eder	Vücudumuzdaki hücreler ile ilgili ifadeler	9.2.1. Canlılığın Temel Birimi Hücre 10.1.3. Büyüme ve Gelişme
8		E	E	Genetik materyalin fiziksel geçişi (Genetik bilgi döllere geçer)	Hemofili	10.1. Üreme 10.1.1. Mitoz ve Eşeyli Üreme 10.1.2. Mayoz ve Eşeyli Üreme 10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik
9	Genetik-Mayotik Model Entegrasyonu	F	F1	Genotip-Fenotip arasındaki ilişki	Orak Hücre Anemisi	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik
10			F2	Olasılığa dayalı örneklere	Kan grupları	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik
11			F3	Moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki	Akondroplazi	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik
12	Moleküler-Genetik Model Entegrasyonu	G1	G1	DNA tür içinde ve türler arasında çeşitlilik gösterir	Genetik bilgi ve DNA Çeşitliliği	9.2. Canlılar Dünyası 9.2.2. Canlıların Çeşitliliği ve Sınıflandırılması 10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik 12.1.1. Nükleik Asitlerin Keşfi ve Önemi
13		G2	G2	Genetik bilgideki değişim varyasyonun artmasıyla sonuçlanır ve evrimi tetikler	Zebra-Aslan	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik 12.4.2. Evrim
14	Moleküler-Genetik ve Moleküler Mayotik Entegrasyonu	H	H	Çevre genetik bilgi ile etkileşir	2. Dünya Savaşı-Kıtlık	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik 12.4.2. Evrim
15		I	I	Sadece gametlerdeki mutasyonlar döllere geçebilir	Deri Kanseri	10.2.1. Kalıtım ve Biyolojik Çeşitlilik
16		J	J	Bir organizmanın yaşamı boyunca gen ifadesi değişebilir	Gen regülasyonu-gen ifadesi	12.4.2. Evrim

Tablo 2’de görüldüğü üzere Modern Genetik Testinde yer alan maddelerden A-D yapısı ile eşleşenler Moleküler Modelde, E, F1 ve F2 ile eşleşenler Genetik ve Mayotik Model Entegrasyonunda, F3 ve G ile eşleşenler Moleküler-Genetik Model Entegrasyonunda, G2-J ile eşleşenler ise Moleküler-Genetik ve Moleküler Mayotik Entegrasyonunda yer almaktadır.

2.3 Verilerin Analizi

Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testinde yer alan ve A1 (genetik bilginin evrenselliği) yapısına ait maddenin biçimlendirici değerlendirme sondaları hazırlamaya yönelik çerçeveye göre hazırlanması ve puanlanmasına ilişkin örnek sunularak verilerin nasıl analiz edildiği açıklanmaya çalışılacaktır.

A1- GENETİK BİLGİNİN EVRENSELLİĞİ

AMAÇ: Canlılarda var olan genetik bilginin evrensel olduğunu ve bu şifrelerle aktarıldığını kavratmak.

Öğretim Programındaki İlgili Fikirler:12. Sınıf 1. Ünite. Kazanımlar; genetik şifrenin evrenselliğinin farkına varır ve önemini ifade eder.

İlgili kavram yanılgıları araştırmaları: Öğrenciler; canlılar prokaryot ve ökaryot gibi farklı hücre yapısına sahip olduğu için genetik bilgiyi aktaran başlangıç ve bitiş kodonlarının farklı olduğunu düşünmektedir. Üçlü şifrelerin farklı canlı türlerindeki karşılığının da aynı olduğunu kavrayamamaktadır. Genetik materyal yapısının tüm türlerde farklı olduğunu düşünmektedirler.

GENEL BİLGİLER: Genetik materyalin yapısı tüm türlerde aynı olduğu için çalışma mekanizması da aynıdır. DNA bulunan 4 çeşit nükleotit (A,T,G,C) farklı şekilde dizilerek 20 çeşit amino asiti kodlayan şifreleri meydana getirir. Bu amino asidi kodlayan üçlü şifrelerin karşılığı tüm canlılarda aynı aminoasit kodlar. Yani örneğin bir organizmadan aldığımız gen farklı bir organizmaya aktardığımızda da aynı işlevi gösterir. DNA’daki 4 çeşit nükleotidin üçlü kombinasyonları ile oluşan 64 çeşit şifre vardır. Bu üçlü kombinasyonlar genetik şifreyi meydana getirir ve şifre evrenseldir.

Sondanın uygulanması

MADDE 1- Örümceklerin ipek yapmak için kullandıkları ipek lifleri oldukça esnek, dayanıklı ve hafiftir. Bu sebeple bu ipek askeri giysilerde, tıbbi aletlerde ve tenis raketlerinin yapımında kullanılmaktadır. Bu iplikçikler özel bir ipek proteininden meydana gelmektedir. Araştırmacılar örümcekte bulunan bu proteinin sentezlenmesini sağlayan genleri keçilere aktararak keçi sütünde ipek liflerinin üretimini sağlamışlardır.

Bir biyoloji öğretmeni biyoloji dersinde öğrencilerinden bu okuma parçasını okumalarını istemiş ve daha sonra onlara bu konuyla ilgili fikirlerini sormuştur. Sınıfta bulunan öğrencilerden bazılarının verdiği cevaplar şöyledir:

- A) Ali, örümceklerden keçilere gen aktarımının mümkün olamayacağını çünkü örümceklerin genleri olmadığını düşünmektedir.
- B) Simge, örümceklerden keçilere gen aktarılsa bile bu genlerin keçinin hücrelerinde işlev görmeyeceğine, her canlının genlerinin kendine özgü olduğunu düşünmektedir.
- C) Erdem, keçinin hücrelerinin örümcek genlerini kullanarak keçi sütünde ipek lifleri oluşmasını sağlayabileceğini düşünmektedir.
- D) Naz, bu bilginin doğru olduğunu çünkü genetik materyalin yapısının tüm canlılarda aynı olduğunu ve çalışma mekanizmasının da aynı olacağını düşünmektedir.

Hangi öğrencinin cevabı sizce en doğrudur. Cevabı işaretleyerek nedenini aşağıya açıklayınız.

Anahtar: Doğru cevap D ‘dir. Çünkü Genetik şifre evrenseldir. Birkaç küçük istisna dışında bütün virüsler, prokaryotlar, arkeler ve ökaryotlar aynı şifre sözlüğünü kullanırlar. Genetik materyalin yapısı tüm türlerde aynı olduğu için çalışma mekanizması da aynıdır (başka bir deyişle proteinlerin kodlanması ile)

Düzy / Seviye	Kod	Açıklayıcı	Cevapların % si
Bilimsel akıl yürütme	3	Genetik bilginin evrenselliğini kavradığı için Öğrenci D şıkkını işaretler	
Gelişmekte olan akıl yürütme	2	Bir genetik şifre farkı canlılarda da aynı genetik bilgiyi kodlar, Öğrenci bu yüzden C şıkkını işaretler	
Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	1	Genetik bilginin evrenselliği ve gen aktarımı hakkında bilgisi yetersiz olan öğrenci B şıkkını işaretler.	
Akıl yürütme açık değil	0A	Genetik bilginin evrenselliği ve gen aktarımı hakkında bilgisi olmayan öğrenci A şıkkını işaretler.Akıl yürütme açık değil	
Akıl yürütme mevcut değil	0B	Akıl yürütme mevcut değil	

Veri toplama aracında yer alan 16 madde, yukarıdaki örnekte olduğu gibi öğretmen adaylarının açıklamaları temel alınarak bilimsel akıl yürütmeden, akıl yürütme mevcut değil düzeyine kadar bir biyoloji eğitimi uzmanı ve bir biyoloji eğitimi doktoru tarafından kodlanmıştır. Bu şekilde, birinci sınıf biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının modern genetik anlayışları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ölçme aracında kullanılan maddelerin cevap kısımlarında bir alan olması sebebiyle öğretmen adaylarının verdikleri cevaplarla açıklamalarının tutarlılığı da incelenmiştir. Buna göre veri analizinde Tablo 3'teki gibi bir yol izlenmiştir:

Tablo 3

Çoktan Seçmeli Modern Genetik Testinin Kodlanması

Seçilen Şık	Açıklama	Kodlanan Düzey
Bilimsel akıl yürütme olarak belirlenen şık (Doğru Şık)	Doğru açıklama	Bilimsel akıl yürütme
Gelişmekte olan akıl yürütme olarak belirlenen şık	Seçtiği şıkka uygun açıklama	Gelişmekte olan akıl yürütme
Doğru Şık	Eksik açıklama	
Başlangıç düzeyinde akıl yürütme olarak belirlenen şık	Seçtiği şıkka uygun açıklama	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme
Akıl yürütme açık değil olarak belirlenen şık	Seçtiği Şıkka uygun açıklama	Akıl yürütme açık değil
Doğru Şık	Açıklama yok	
Yanlış Şık	Açıklama yok	Akıl yürütme mevcut değil

Tablo 3'te de görüldüğü üzere katılımcıların seçtikleri şıklar ve açıklamaları doğrultusunda kodlama yapılmıştır. Öğretmen adaylarının doğru şıkkı seçmeleri bilimsel akıl yürütme düzeyinde kodlanmaları için yeterli değildir. Örneğin, doğru cevabı verip açıklama yapmayan bir öğretmen adayı, akıl yürütme açık değil; yanlış cevap verip açıklama yapmayan bir öğretmen adayı ise akıl yürütme mevcut değil şeklinde kodlanmıştır. Bulgular bölümünde öğretmen adaylarının açıklamalarından örnekler verilmiştir. Biyoloji Öğretmen Adayları (BÖA) ve Kimya Öğretmen Adaylarının (KÖA) verileri sunulurken kodları ve analizde kendilerine atanan numaralar kullanılmıştır. Sonrasında katılımcıların her boyutta bilimsel akıl yürütme düzeylerine göre hesaplanan yüzdeleri en yüksekte en düşüğe sıralanarak yorumlanmıştır. Çalışmanın katılımcılarının nasıl seçildiği, veri toplama aracının nasıl hazırlandığı ve analiz edildiği açıklanarak dış geçerlilik sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca araştırmanın tüm aşamaları detaylı bir şekilde tanımlanarak ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Araştırmanın içerisinde katılımcıların birebir ifadelerine yer verilmesi ve veri toplama aracının uzman görüşleri ile son haline getirilmesi ile de iç güvenilirlik sağlanmaya çalışılmıştır.

BULGULAR

Bu kısımda modern genetik öğrenme progresyonundaki 16 yapıya (Tablo 1) ait biyoloji ve kimya öğretmen adaylarından elde edilen veriler, veri analizi kısmındaki açıklamalar doğrultusunda sunulacaktır.

3.1 A yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin A yapısı, genel tanımıyla, tüm canlıların evrensel bir genetik şifre kullandığını, genetik materyalin yapısının tüm türlerde aynı olduğu için çalışma mekanizmasının da aynı olduğunu ve genetik bilginin hiyerarşik bir şekilde organize olduğunu tanımlamaktadır. Bu bağlamda, A yapısı, A1, A2 ve A3 olmak üzere üç yapıdan oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan modern genetik testinin ilk üç sorusu A yapısına ilişkindir. Buna göre, A1 yapısına ilişkin soruda

canlılar arasındaki gen aktarımı, A2 yapısına ilişkin soruda genetik kavramları arasındaki büyüklük küçüklük ilişkisi, A3 yapısına ilişkin soruda ise DNA Replikasyonu sorgulanmaktadır.

Tablo 4, biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının A1, A2 ve A3 yapılarına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir. Tablonun alt kısmında açıklamalar sırayla sunulmuştur.

Tablo 4

A Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		Toplam (N=34)
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	
A1- Genetik Bilginin Evrenselliği	Bilimsel akıl yürütme	5 (%27.78)	3 (%18.75)	8 (%23.53)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	8 (%44.44)	7 (%43.75)	15 (%44.12)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	5 (%27.78)	1 (%6.25)	6 (%17.65)
	Akıl yürütme açık değil	-	1 (%6.25)	1 (%2.94)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	4 (%25)	4 (%11.76)
A2- Hiyerarşik Organizasyon	Bilimsel akıl yürütme	5 (%27.78)	10 (%62.5)	15 (%44.12)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	3 (%16.67)	4 (%25)	7 (%20.59)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	10 (%55.56)	-	10 (%29.41)
	Akıl yürütme açık değil	-	2 (%12.5)	2 (%5.88)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-
A3- Replikasyon	Bilimsel akıl yürütme	12 (%66.67)	7 (%43.75)	19 (%55.88)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	3 (%16.67)	4 (%25)	7 (%20.59)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	3 (%16.67)	2 (%12.5)	5 (%14.71)
	Akıl yürütme açık değil	-	3 (%18.75)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-

Tablo 4 incelendiğinde, çalışmaya katılan biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının A1 yapısının temsil ettiği genetik bilginin evrenselliğine ilişkin cevaplarının % 23.53'ünün bilimsel akıl yürütme düzeyinde, %44.12'sinin ise gelişmekte olan akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Soruda doğru cevabı işaretleyen bir biyoloji öğretmen adayının açıklaması yanlış olduğundan, başlangıç düzeyinde akıl yürütme şeklinde kodlanmıştır. Bu öğretmen adayı, *her genetik materyalin yapısının aynı olmadığını ve aynı işlevde olmadığını* düşünmektedir. Başka bir öğretmen adayının açıklamasında ise, *genlerin yapısının benzerlik gösterdiği* ifadesi bulunduğundan, gelişmekte olan akıl yürütme altında yer almıştır. Kimya öğretmen adaylarından biri doğru şıkkı seçmesine rağmen açıklama yapmadığı için akıl yürütme açık değil, dördü ise yanlış şıkkı seçip açıklama yapmadığı için akıl yürütme yok şeklinde kodlanmıştır. Öğretmen adaylarının açıklamaları incelendiğinde, öğretmen adaylarının, *maddedeki paragrafta ipek liflerinin üretimi sağlandığının belirtildiği, canlılarda ortak genler bulunduğu, gen aktarımı ile kazandırılabilen bazı işlevler olabileceği* gibi sebepler öne sürerek gelişmekte olan akıl yürütme düzeyini belirten şıkkı işaretledikleri görülmüştür. Benzer şekilde, *her canlının kendine özgü bir gen ve/veya baz dizilimi olduğunu ve örümcek ile keçi arasında çok büyük bir genetik fark olduğunu* ifade ederek başlangıç düzeyinde akıl yürütmeye işaret eden şıkkı işaretlemişlerdir. Bu yapının özelliklerine göre, bulgular, öğretmen adaylarının genetik materyalin yapısının tüm canlılarda aynı olduğunu ve çalışma mekanizmasının da aynı olacağını anlamakta zorluk çektiklerine işaret etmektedir. A1 yapısına ilişkin soruda, öğretmen adaylarının seçtikleri cevabı açıklamalarında kullandıkları ifadelerden örnekler şöyledir:

Genetik materyalin yapısının tüm canlılarda aynı olduğunu ve çalışma mekanizmasının da aynı olacağını düşünerek soruya doğru cevabı vermiştir. Genetik materyal olarak DNA'yı ele alırsak bütün canlılarda vardır gen aktarımı için ve yapısı hiç değişmez. (BÖA2)

Bu şıkkı seçtim çünkü günümüzde gen aktarımı mümkün bir şeydir. (KÖA5)

Çünkü her canlı kendine özgü genetik bilgileri ve işlevleri sağlayacak ölçüde yaratılmıştır. Bu yüzden gen aktarılsa bile keçinin genlerinde işlevsiz kalır. Sonuç vermez. (BÖA1)
Gen aktarılsa bile çalışmaz çünkü keçide o geni çalıştıracak kodon bulunmaz (KÖA13)

A2 yapısının temsil ettiği (nükleotit, gen, DNA, kromozom) yapıların hiyerarşik yapısına ilişkin bulgulara göre, sıralamanın katılımcıların yarısından fazlası tarafından doğru bir şekilde yapılamadığı gözlenmiştir. Biyoloji öğretmen adaylarının %55.56'sının başlangıç düzeyinde akıl yürütme düzeyinde olması ve kimya öğretmen adaylarının bu yapıyı daha iyi anlamaları dikkat çekicidir. Bazı öğretmen adayları ise "KeDiGeNi" kısaltmasından yola çıkarak cevabı doğru bir şekilde verdiklerini ancak sebebini hatırlamadıklarını ifade etmişlerdir. Bu durum çalışmaya katılan öğretmen adaylarının çoğunluğunun soruyu doğru bir şekilde yanıtlamalarına karşın hiyerarşik organizasyonun doğasını tam olarak kavrayamadıklarını düşündürmektedir. A2 yapısına ilişkin soruda bu sıralamayı doğru bir şekilde yapamayan bir öğretmen adayı açıklamasında "En küçük yapı kromozomdur. Kromozomlar birleşerek genleri oluşturuyor. En büyük olansa nükleotid olur. (BÖA9)" demiştir.

A3 alt yapısı bir organizmadaki hücrelerin (eşey hücreler hariç) genetik olarak eş olduğunu ve hücre bölüneceği zaman genetik materyalin iki katına çıktığını tanımlamaktadır. Bu yapıya ilişkin bulgular incelendiğinde çalışmaya katılan öğretmen adaylarının 19'unun "DNA yarı korunumlu eşlenmeseydi ne olurdu?" sorusunda doğru yanıtı işaretledikleri görülmektedir. Bu soru için öğretmen adaylarının yaptıkları açıklamalar ele alındığında ise doğru cevap veren biyoloji öğretmen adaylarından dokuzu *genetik mirasın korunarak yeni nesillere aktarılmasına* vurgu yaparken, üçü ise *mutasyonların düzeltilmesine* vurgu yapmışlardır. Benzer şekilde soruyu doğru yanıtlayan kimya öğretmen adaylarından beşi *DNA'nın korunarak gelecek nesillere aktarılmasına* ve ikisi ise *mutasyon sebebiyle değişimin önüne geçilmesine* vurgu yapmışlardır. Bu yapıya ilişkin diğer önemli bir bulgu ise A yapısına ilişkin olarak doğru yanıtlanma oranı her iki öğretmenlik alanı için en yüksek olan yapı olmasıdır. A3 yapısına ilişkin soruyu doğru yanıtlayan öğretmen adaylarının açıklamalarından örnekler şu şekildedir:

Yarı korunumlu eşlenmeseydi bir organizmadaki hücreler genetik olarak eş olamazdı ve bu mutasyonlara sebep olabilir. Bu mutasyonlar canlı için yararlı veya zararlı olabilir ama DNA'da deneme yanılma gibi bir sistem yoktur (BÖA13)

Yarı korunumlu eşlenme DNA'yı değiştirmeden kopyalama demektir açıkçası B ve D şıkları arasında kaldım ve D daha mantıklı geldi (KÖA15)

3.2 B yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonunun B yapısı, protein yapısını belirleyen evrensel talimatların, yani genlerin bilgi kaynağı olduğunu ve proteinlerin kodlanmasındaki rolünü açıklamaktadır. Bu çalışmada kullanılan modern genetik testinin dördüncü sorusu, B yapısına ilişkindir ve soruda bir canlının tüm hücrelerindeki genetik bilginin doğası sorgulanmaktadır. Tablo 5, biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının B yapısına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Tablo 5

B Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
B- Bilgi Kaynağı olarak genler (genler proteinleri kodlar)	Bilimsel akıl yürütme	13 (%72.2)	8 (%50)	21 (%61.76)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	4 (%25)	8 (%23.53)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	1 (%5.56)	2 (%12.50)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme açık değil		2 (%12.50)	2 (%5.88)

Tablo 5'in analizi, çalışmaya katılan biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının B yapısının temsil ettiği bilgi kaynağı olarak genler hakkındaki anlayışlarının büyük çoğunluğunun (%73.53) bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğunu göstermektedir. Bu yapıya ilişkin özellikler göz önüne alındığında, öğretmen adaylarının yarısından fazlasının canlıların (eşey hücreleri hariç) tüm hücrelerindeki genlerin aynı olduğunu, hücrenin işlevine uygun şekilde özelleşerek proteinlerin sentezlenmesinde rol oynadığını anlamış oldukları görülmektedir. Ancak, B yapısı için ilgili soruya cevap veren dört öğretmen adayının açıklamalarında, *aynı genlerin farklı işlevleri olabileceği, genlerin işlevlerine göre özelleştiği* gibi ifadeler yer almaktadır. Bu nedenle, bu katılımcılar geliştirmekte olan akıl yürütme seviyesinde kodlanmış ve tüm hücrelerdeki genetik bilginin ve genetik materyalin yapısının aynı olduğunun doğasını tam olarak kavrayamamışlardır. Bu konuya ilişkin öğretmen adaylarının ifadelerinden alıntılar aşağıdaki gibidir:

“Midenin işlevi besinleri sindirmek olduğu için o gen midede sindirime yardımcı enzimlerin salgılanmasında rol oynar. (BÖA16)”

“Her hücre DNA'daki belirli genleri okuyabilir ve bu genler hücrenin ne görevde kullanılacağını belirler.” (BÖA2)

“Aynı gen birden çok yerde bulunabilmektedir fakat her yerde aynı işlevde çalışmayabilir.” (KÖA15)

Tablo 5'teki verilere göre, B yapısına ilişkin olarak biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının bilimsel akıl yürütme düzeyinde sınıflandırılmayan ifadeleri incelendiğinde, bazı adayların neden-sonuç ilişkileri kurma yönünde adım attıkları ancak bu ifadelerin bilimsel bilgi ile tutarlılık göstermediği görülmektedir.

“C şıkkını işaretledim çünkü DNA eşlenebilir ama kendini yenileyemez” (BÖA5)

“A şıkkını işaretledim çünkü AUG kodonu sadece midede kodlanmıştır. Eğer gözde kodlanmış olsaydı enzimler göze zarar verebilirdi.” (BÖA7)

“Genetik bilgi tüm hücrelerimiz de aynı olsa da bu genlerin sıralanışı farklılık gösterir ve bunun sonucunda farklı özellikler ortaya çıkar.” (KÖA6)

3.3 C yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin C yapısı, tüm canlı organizmaların işleyişinde merkezi bir role sahip olan proteinlerin, genleri ve özellikleri birbirine bağlayan mekanizma olduğunu tanımlamaktadır. Bu mekanizma C1 ve C2 olarak iki yapıda incelenmektedir. C1 yapısı, "Proteinler hücrenin işlerini yapar" fikrini içerirken, C2 yapısı "Proteinler genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağlar" fikrini barındırır. Çalışmada kullanılan modern genetik testinin beşinci ve altıncı soruları ise C1 ve C2 yapılarına ilişkindir. Beşinci soruda, genetik hastalıklardan biri olan Duchenne Kas Distrofisi'nin bir ailede aktarımı C1 yapısına ilişkin olarak ele alınmaktadır. Altıncı soruda ise proteinlerin yapı ve fonksiyonları (C2) sorgulanmaktadır. Tablo 6, biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının C1 ve C2 yapılarına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelere göstermektedir.

Tablo 6

C Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelere İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
	Bilimsel akıl yürütme	14 (%77.78)	9 (%56.25)	23 (%67.65)

C1- Protein fonksiyonları (proteinler hücrenin işlerini yapar)	Gelişmekte olan akıl yürütme	2 (%11.11)	2 (%12.50)	4 (%11.76)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	-	1 (%6.25)	1(%2.94)
	Akıl yürütme açık değil	1 (%5.56)	3 (%18.75)	4 (%11.76)
	Akıl yürütme mevcut değil	1 (%5.56)	1 (%6.25)	2 (%5.88)
C2- Protein yapı ve fonksiyonu (Proteinler, genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağlar)	Bilimsel akıl yürütme	5 (%27.78)	9 (%56.25)	14 (%41.88)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	6 (%33.33)	3 (%18.75)	9 (%26.47)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	4 (%22.22)	2 (%12.50)	6 (%17.65)
	Akıl yürütme açık değil	1 (%5.56)	2(%12.50)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme mevcut değil	2 (%11.11)	-	2 (%5.88)

Tablo 6 incelendiğinde çalışmaya katılan biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının C1 alt yapısının temsil ettiği proteinler hücrelerin işlerini yapar fikrine ilişkin anlayışlarının %67.65'inin bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu yapının özelliklerine göre öğretmen adaylarından 20'sinin soruda geçen Duchenne Kas Distrofisi hastalığının *X kromozomu üstünde distrofin proteini sentezleyen koddaki bozukluktan dolayı oluştuğuna ve hastalığın X kromozomu üzerinde çekinik olarak taşındığına* vurgu yapmışlardır. Soruya doğru yanıt veren öğretmen adaylarından ikisi ise bu duruma bir *mutasyonun sebep olduğunu ve bu sebeple distrofin proteininin sentezlenemediğini* belirtmişlerdir. Bilimsel akıl yürütmeye işaret eden cevaplar veren öğretmen adaylarının ifadelerinden örnekler şöyledir:

“Annesi taşıyıcı olduğu için bu hastalığı Mehmet X kromozomu üzerinden almıştır. Bu yüzden de iki ihtimal vardır onun için ya hasta ya da taşıyıcı olacaktır. Mehmet'in distrofin proteinini sentezleyen koddaki bir bozukluk varsa ancak hasta olabilir.” (BÖA17)

“Normalde X geni üzerinde taşınıp, bir mutasyon sonucu Y geni üzerinden Mehmet'e geçmiş ve Mehmet de kesin hasta olmuş olabilir.” (KÖA10)”

C1 yapısına ilişkin soruda 11 öğretmen adayının proteinlerin fonksiyonlarını anlamakta zorluk çektikleri söylenebilir. Soruya yanlış cevap veren veya yanlış açıklamalarda bulunan öğretmen adaylarının ifadeleri incelendiğinde ise üç öğretmen adayının mutasyonlara vurgu yaptığı görülmüştür. Duchenne Kas Distrofisi her ne kadar distrofin genindeki mutasyondan kaynaklı bir hastalık olsa bile bu öğretmen adaylarının bu mutasyonun distrofin proteinini sentezleyememeye sebep olduğunu anlayamadıkları söylenebilir. Soruya yanlış yanıt veren öğretmen adaylarının yaptıkları açıklamalardan örnekler şöyledir.

“Mehmet'in babası sağlıklı olduğu için fark edilmemiş olabilir. O yüzden Mehmet'te de sonradan fark edildi. X kromozomu üzerinden değil Y kromozomu üzerinden daha çok taşındığı için X kromozomunu çok göze almamız gerekmemektedir. Gen hastalığı olduğu için beslenmeyle düzelmez. (BÖA18)”

“Diğer şıkları anlayamayız çünkü kodunda bir bozukluk olsa bile bunu bilemeyiz ama Mehmet'in babası sağlıklı olduğu için mutasyonla birlikte bu hastalık ortaya çıkmış olabilir. (BÖA1)”

Proteinlerin genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağladığını temele alan C2 yapısına ait soruda ise proteinlerin bu özelliği bir metinde açıklanmış ve buna göre proteinlerin yapı ve işlevlerine ilişkin özellikler sorulmuştur. Bu soru için kritik nokta öğretmen adaylarının proteinlerin bazı hormonların ve bütün reseptörlerin yapısına katılması ile proteinleri oluşturan aminoasitlerin dizilimine göre yapı ve fonksiyonlarının değişiklik gösterdiğine ilişkin anlayışlarıdır. Tablo 6 incelendiğinde katılımcı öğretmen adaylarının yanıtlarının %41.88'inin doğru olduğu görülmektedir. Buna göre yapılan açıklamalar incelendiğinde ise biyoloji öğretmen adaylarından birinin *“dizilim DNA'da vardır, aminoasitler proteinlerin yapı taşıdır, sıralaması yoktur (BÖA2)”* şeklinde bir açıklama yaptığı görülmüştür. Bu açıklama katılımcıların proteinlerin genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağlama işlevini kavrayamadıklarını göstermektedir. Çünkü her amino asidin özgün bir veya birden fazla sıralaması vardır. Bunun dışında bazı öğrencilerin proteinlerin tüm hormonların yapısına katıldığını, reseptörlerin yapısına katılmadığını ve zorunlu durumlarda enerji verici olarak kullanılmayacağını düşündükleri belirlenmiştir. Örneğin bir

öğretmen adayı “*protein enerji verici olarak kullanılmaya başlandığında ölüm diyeti başlamış olur (BÖA6)*” diyerek proteinlerin gerektiğinde enerji verici olarak kullanılmayacağını belirtmiştir.

3.4 D yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin D yapısı, hücrelerin farklı genleri ifade ettiğini yani gen ifadesini tanımlamaktadır. Bu yapıya ilişkin olarak katılımcıların eşey hücreleri hariç bir organizmanın tüm hücrelerinde bulunan genetik bilginin aynı olduğunu ancak farklı işlevleri yerine getirmek için farklı genleri ifade ettiğini anlamaları beklenmektedir. Tablo 7 biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının D yapısına ilişkin soruya verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelерini göstermektedir.

Tablo 7

D Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
D- Hücreler farklı genleri ifade eder	Bilimsel akıl yürütme	5 (%27.78)	2 (%12.50)	7 (%20.59)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	7 (%38.89)	6 (%37.50)	13 (%38.24)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	5 (%27.78)	3 (%18.75)	8 (%23.53)
	Akıl yürütme açık değil	1 (%5.56)	2 (12.50)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	3 (%18.75)	3 (%8.82)

Tablo 7 incelendiğinde D yapısının temsil ettiği hücreler farklı genleri ifade eder fikrine ilişkin olarak çalışmaya katılan biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının %20.59'unun bilimsel akıl yürütme ve %38.24'ünün gelişmekte olan akıl yürütme düzeyinde yer aldığı görülmektedir. Bu yapının özelliklerine göre öğretmen adaylarının bir organizmanın tüm hücrelerinde (eşey hücreleri hariç) bulunan genetik bilginin aynı olduğunu ancak farklı işlevleri yerine getirmek için farklı genleri ifade ettiğini anlamakta zorluk çektikleri söylenebilir. Öğretmen adaylarının açıklamaları incelendiğinde ise başlangıç düzeyinde akıl yürütme kategorisinde kodlanan öğretmen adaylarının *hücreler farklı olduğu için farklı görevleri olduğu, hücre yapısını DNA diziliminin belirlediği* gibi kısmen doğru ancak yüzeysel sayılacak ifadelerde buldukları görülmüştür. Buna ilişkin bir kimya öğretmeni adayı “*her hücrenin bulunduğu yerde kendine özgü görevi olduğu için ona göre farklılıklar gösterir (KÖA10)*” şeklinde açıklama yapmıştır. Gelişmekte olan akıl yürütmeye sahip öğretmen adayları ise *her hücrenin farklı proteinler üretmesi sebebiyle görev ve işlevce farklılaştığını* ve her genin *her organda görev almadığını* ifade ederek yine kısmen doğru ancak eksik bir akıl yürütmede bulunmuşlardır. Buna göre öğretmen adaylarının DNA'daki gen ifadesinin hücrenin görev ve işlevine göre yürütüldüğü ve bu doğrultuda proteinlerin sentezlendiği fikrine tam anlamıyla sahip olmadıkları söylenebilir.

3.5 E yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin E yapısı, organizmaların genetik bilgilerini bir sonraki nesle aktararak çoğaldıklarını (genetik materyalin fiziksel geçişini) tanımlamaktadır. Bu yapıya ilişkin olarak X'e bağlı çekinik bir hastalık olan hemofili örneği üzerinden bir soru ile öğretmen adaylarından genetik bilginin anne babadan çocuklara fiziksel olarak nasıl geçtiğini açıklamaları beklenmektedir.

Tablo 8 biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının E yapısına ilişkin soruya verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelерini göstermektedir.

Tablo 8*E Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular*

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
E- Genetik materyalin fiziksel geçişi	Bilimsel akıl yürütme	14 (%77.78)	7 (%43.75)	21 (%61.76)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	3 (%18.75)	7 (%20.59)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	-	3 (%18.75)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme açık değil	-	-	-
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-

Tablo 8 incelendiğinde genetik materyalin fiziksel geçişine ilişkin soruda katılımcı öğretmen adaylarının yanıtlarının %61.76'sının bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan akıl yürütme kategorisinde bulunan bir biyoloji öğretmeni adayının ifadesi şöyledir:

“Erkek çocuklar XY kromozomuna sahiptirler. Hastalığı X kromozomu taşır. Taşıyıcı anne X^RX^r genine sahiptir. Sağlıklı bir baba ise X^RY genine sahiptir. Anneden X^r babadan Y kromozomu geldiğinde X^rY kromozomuna sahip erkek çocuk meydana gelir (BÖA6)”

Bu yapıya ilişkin açıklamalarda öne çıkan önemli bir nokta ise öğretmen adaylarının çoğunluğunun işaretledikleri seçeneğe ilişkin açıklamalarının birbirine çok benzer olması ancak bu açıklamanın onları farklı sıklara götürmüş olmasıdır. Buna göre hastalığın belirleyicisinin cinsiyet olduğunun farkında olan üç kimya öğretmeni adayı başlangıç düzeyinde akıl yürütme kategorisinde kodlanmıştır. Gelişmekte olan akıl yürütme kategorisinde kodlanan bazı öğretmen adayları ise çocuğun sahip olduğu X kromozomu sayısının etkili olduğunu (n=3), kadınlarda bu hastalığın daha fazla görüldüğünü (n=1) ve erkeklerde bir X kromozomu olduğundan hasta olma ihtimalinin fazla olduğunu (n=1) düşünmektedirler. Bu durumu bir biyoloji öğretmeni adayı şu şekilde ifade etmiştir: *“Erkeklerde 2 genotip kadınlarda 3 genotip bulunur. Anne 2X taşıyıcı baba 1X sağlıklı olması çocuğun hasta olmasına sebep olur (BÖA12)”*

3.6 F yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin F yapısı, genler ve özellikler arasındaki korelasyon kalıplarını ve bu kalıpların meydana gelmesi için belirli olasılıklar olduğunu tanımlamaktadır. Bu bağlamda F yapısı, F1 (genotip-fenotip arasındaki ilişki), F2 (olasılığa dayalı örüntüler) ve F3 (moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki) olmak üzere üç yapıdan oluşmaktadır. Buna göre, F1 yapısına ilişkin soru orak hücre anemisi, F2 yapısına ilişkin soru kan grupları, F3 yapısına ilişkin soru ise akondroplazi (kalıtsal bir cücelik) ile ilgilidir. Tablo 9, biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının F1, F2 ve F3 yapılarına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Tablo 9*F Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular*

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
F1- Genotip fenotip arasındaki ilişki	Bilimsel akıl yürütme	11 (%61.11)	11 (%68.75)	22 (%64.71)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	6 (%33.33)	1 (%6.25)	7 (%20.59)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	-	-	-

	Akıl yürütme açık değil	-	4 (%25)	4 (%11.76)
	Akıl yürütme mevcut değil	1 (%5.56)	-	1 (%2.94)
F2- Olasılığa dayalı örüntüler	Bilimsel akıl yürütme	4 (%22.22)	3 (%18.75)	7 (%20.59)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	8 (%44.44)	5 (%31.75)	13 (%38.24)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	6 (%33.33)	5 (%31.75)	11 (%32.35)
	Akıl yürütme açık değil	-	3 (%18.75)	3 (%8.82)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-
F3- Moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki	Bilimsel akıl yürütme	2 (%11.11)	3 (%18.75)	5 (%14.71)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	10 (%55.56)	2 (%12.50)	12 (%35.29)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	3 (%16.67)	5 (%31.75)	8 (%23.53)
	Akıl yürütme açık değil	1 (%5.56)	5 (%31.75)	6 (%17.65)
	Akıl yürütme mevcut değil	2 (%11.11)	1 (%6.25)	3 (%8.826)

Tablo 9 incelendiğinde F1 yapısına ilişkin katılımcı öğretmen adaylarının yanıtlarının %64.71'inin bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu yapıya ilişkin soruda orak hücre anemisi sorusunu doğru yanıtlayıp bilimsel akıl yürütme düzeyinde kodlanan bir öğretmen adayının açıklaması şöyledir:

“Anemi, hastalığı çekiniktir, çünkü çekinik olmasa anne ve baba taşıyıcı değil hasta olur. Ayrıca çekinik olduğu için anne babanın ikisinden de alması gerekir.” (KÖA3)

Gelişmekte olan akıl yürütme düzeyinde kodlanan öğretmen adaylarının açıklamaları incelendiğinde ise bu düzeyde kodlanan tüm öğretmen adaylarının hastalığı baskın genler üzerinden açıkladıkları görülmüştür. Örneğin bir öğretmen adayı bu durumu şöyle ifade etmiştir: *“Orak hücre anemisi olan anne ve babada da baskın gen bulunmasından kaynaklı hasta çocuk meydana gelir.” (BÖA18)*. Bu doğrultuda bu katılımcıların genotip-fenotip arasındaki ilişkide meydana gelebilecek olasılıkları (hasta, sağlıklı, taşıyıcı) ve bu olasılıkların hangi durumlarda (baskın, çekinik) ortaya çıkacaklarını anlamak için soy ağaçlarını doğru yorumlayamadıkları görülmüştür.

F2 yapısının temsil ettiği olasılığa dayalı örüntüler sorusunda ise kan gruplarına ilişkin olasılıklar üzerinden öğretmen adaylarının anlayışları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre Tablo 9 incelendiğinde hem biyoloji hem kimya öğretmeni adaylarının kan gruplarına ilişkin bilimsel anlayışlarının oldukça düşük (%20.59) olduğu görülmektedir. Bu soruyu doğru yanıtlayan öğretmen adaylarının Rh (+) bir bireyin Rh (-) bir bireye kan veremeyeceğinin, kan gruplarında meydana gelen olasılıkların ve grupların taşıdıkları antikor/antijenlerin farkında oldukları yaptıkları açıklamalarla da görülmüştür. Örneğin BÖA3 kodlu öğretmen adayı *“B kan grubu olduğu için B antijeni A antikorunu bulunur. BB Rr olma ihtimali ¼'tür ve AB Rh (-) grubundaki bireye kan veremez”* diye açıklama yaparak doğru şıkkı işaretlemiştir. Gelişmekte olan akıl yürütme düzeyinde kodlanan öğretmen adaylarının ise kan grupları arasındaki kan alışverişindeki açıklamaları, 0 (sıfır) kan grubu genel verici olarak nitelendirilmesine rağmen 0 Rh (-) kan grubunun kan tipinin bilinmediği acil durumlarda kullanıldığını, bazen ek antikorların mevcut olabileceğini ve ideal kan alışverişinin herkesin kendi grubu arasında olduğunun farkında olmadıklarına işaret etmiştir. Örneğin BÖA7 kodlu öğretmen adayı *“0 (sıfır) kan grubu bütün kan gruplarına istediği kadar kan verebilir. 1 kez diye bir şart yoktur”* şeklinde açıklama yapmıştır.

F3 yapısının temsil ettiği moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki sorusunda ise kalıtsal bir cücelik olan otozomal baskın geçişli Akondroplazi ile ilgili bir örnek üzerinden öğretmen adaylarının anlayışları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre Tablo 9 incelendiğinde ilgili soruyu doğru yanıtlayıp bilimsel akıl yürütme düzeyinde kodlanan öğretmen adaylarının oldukça düşük oranda olduğu (%14.71) görülmektedir. Öğretmen adaylarının açıklamaları incelendiğinde bu durumun hastalığın otozomal çekinik genlerden veya kromozomların ayrılmamasından kaynaklı olduğunu düşünenlerin oldukça fazla olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Örneğin BÖA11 kodlu öğretmen adayı *“çekinik olmasaydı Türkiye nüfusunda bulunan tüm insanların daha büyük bir çoğunluğu kısa boylu olurdu”* şeklinde bir akıl yürütme ile hastalığı otozomal çekinik olarak nitelendirmiştir. Bir diğer biyoloji öğretmeni adayı ise *“otozomal hastalıklar genel*

olarak sendrom şeklinde ortaya çıkar ve kromozomların ayrılmaması veya fazla eşlenmesi sonucu meydana gelir (BÖA13)” ifadesinde bulunmuştur. Bir kimya öğretmeni adayı ise “4. Kromozom vücut hücresidir ve hastalıklar hep çekinik genlerle taşınır” (KÖA8) demiştir. Bu bulgular katılımcı öğretmen adaylarının hem kalıtımın basit baskın ve çekinik örüntülerini hem de moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişkinin doğasını tam olarak kavrayamadıklarını göstermektedir.

3.7 G yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin G yapısı, genetik bilgideki değişikliklerin, nasıl görüldüğümüzde ve işlev gördüğümüze (fenotip) ilişkin değişikliklere neden olabileceğini, DNA’daki bu tür varyasyonların bireyleri ve türleri tanımlamanın bir yolu olarak hizmet edebileceğini tanımlamaktadır. Buna göre G1 ve G2 olarak iki yapıda incelenen G yapısının G1 yapısı “DNA tür ve türler arasında çeşitlilik gösterir” ve G2 yapısı “Genetik bilgideki değişim varyasyonun artmasıyla sonuçlanır ve evrimi tetikler” fikirlerini barındırmaktadır. G1 yapısına ilişkin soruda, DNA’daki bilgi ve türler arasındaki ilişkiler ve G2 yapısına ilişkin soruda ise zebra ve aslan örnekleri kullanılarak doğal seçilimin nasıl işlediği sorgulanmaktadır.

Tablo 10, biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının G1 ve G2 yapılarına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Tablo 10

G Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
G1- DNA tür ve türler arasında çeşitlilik gösterir	Bilimsel akıl yürütme	7 (%38.89)	4 (%25)	11 (%32.35)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	7 (%43.75)	11 (%32.35)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	7 (%38.89)	-	7 (%20.59)
	Akıl yürütme açık değil	-	1 (%6.25)	1 (%2.94)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	4 (%25)	4 (%11.76)
G2- Genetik bilgideki değişim varyasyonun artmasıyla sonuçlanır ve evrimi tetikler	Bilimsel akıl yürütme	12 (%66.67)	6 (%37.50)	18 (%52.94)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	3 (%18.75)	7 (%20.59)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	1 (%5.56)	5 (%31.75)	6 (%17.65)
	Akıl yürütme açık değil	1 (%5.56)	1 (%6.25)	2 (%5.88)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	1 (%6.25)	1 (%2.94)

Tablo 10 incelendiğinde G1 yapısına ilişkin öğretmen adaylarının yanıtlarının %32.35’inin bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu soruya doğru yanıt veren öğretmen adaylarının türler arasındaki genetik farklılığın proteinlerdeki farklılıklardan kaynaklandığını anladıkları görülmektedir. Gelişmekte olan akıl yürütme kategorisinde yer alan öğretmen adayları ise fenotipteki farklılıkların genetik bilgideki farklılıktan kaynaklandığını belirtmekte ancak proteinlerden bahsetmedikleri için kavrayışlarının sınırlı kaldığı görülmektedir. Örneğin gelişmekte olan akıl yürütme kategorisinde yer alan bir biyoloji öğretmeni adayı ifadesinde “Çünkü genler görünüşü sağlar, her insan farklı görüldüğüne göre farklı genlere sahiptirler” (BÖA15) şeklinde bir açıklama yapmıştır. Bir kimya öğretmeni adayı ise “Her canlının kendine özgü DNA’sı bulunur. Bireyler ancak öyle farklı görünebilir” (KÖA14) açıklamasını yapmıştır. Başlangıç düzeyinde akıl yürütme kategorisinde yer alan katılımcıların açıklamalarında ise örnek vererek açıklama yapmaları dikkat çekici bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre “böbrek naklini örnek verebilirim, genler farklı olsa böbrek nakli olmaz”, “bir maymun ile insan arasında %0.4’lük bir genetik farklılık vardır”, “...bir muz ile DNA’mız %50 oranında benzerdir”, “yunus balıklarıyla bazı genlerimiz

ortak mesela hemoglobin üreten genimiz” şeklinde açıklamalarla diğer türlerle bazı genlerimizin ortak olduğunu açıklamaya çalıştıkları görülmüştür.

G2 yapısına ait sonuçlar Tablo 10’den incelendiğinde ise öğretmen adaylarının yanıtlarının %52.94’ünün bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu soruya doğru yanıt veren katılımcıların doğal seçilimi ve genetik bilgideki değişimin varyasyonun artmasıyla sonuçlanarak evrimi tetikleyici bir rolü olduğunu anladıkları söylenebilir. G2 yapısına ilişkin soruyu doğru yanıtlayamayan öğretmen adaylarının yanıtları incelendiğinde; biyoloji öğretmen adaylarından birinin soruda geçen zebra-aslan örneğindeki durumu av-avcı ilişkisiyle açıkladığı, ikisinin ise adaptasyonların genler üzerinde etkisi olduğunu öne sürdüğü ve sonuçta gelişmekte olan akıl yürütmeyi işaret eden şıkka yöneldikleri görülmüştür. Kimya öğretmen adaylarından üçü ise yine av-avcı ilişkisine vurgu yaparak gelişmekte olan akıl yürütme kategorisinde yer almışlardır. Buna ilişkin bir biyoloji öğretmen adayının ve bir kimya öğretmen adayının ifadeleri şöyledir:

“Av-avcı ilişkisinde avcılar tarafından tehdit altında olan avlar kendilerini korumak için yani hayatta kalma savaşı için ortamdaki şartlara en iyi şekilde adapte olmaları gerekir. Bundan dolayı zebra zamanla hızlı koşma genine sahip olacaklardır.” (BÖA18)

“Yavaşlar aslan tarafından yenilip hızlı koşanlar hayatta kalacak ve genle başkalarına aktarılacaktır.” (KÖA10)

3.8 H yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin H yapısı, çevrenin genetik bilgimizle etkileşime girebileceğini tanımlamaktadır. Diğer bir deyişle bu yapı genetik yapının fiziksel karakterlerin ve özelliklerin tek belirleyicisi olmadığını (epigenetik) anlamayı gerektirmektedir. H yapısına ilişkin soru gen ve çevre ilişkisini sorgulayan, ikinci dünya savaşı esnasında kıtlığa maruz kalan bebekler ile ilgilidir. Tablo 11, biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının H yapısına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Tablo 11

H Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelerine İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
H- Çevre genetik bilgi ile etkileşir	Bilimsel akıl yürütme	9 (%50)	6 (%37.50)	16 (%47.06)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	4 (%25)	8 (%23.53)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	-	-	-
	Akıl yürütme açık değil	5 (%27.78)	5 (%25)	10 (%23.53)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	1 (%6.25)	1 (%2.94)

Tablo 11’deki H yapısına ait sonuçlar incelendiğinde cevapların %47.06’sının bilimsel akıl yürütme düzeyine işaret ettiği görülmektedir. Buna göre doğru yanıtı işaretleyen öğretmen adayları kıtlık çevresel faktörünün bireylerin genlerinde mutasyona sebep olma veya gen ifadesini değiştirme yoluyla nesilden nesile aktarılabilmesini anladıkları söylenebilir. Bu yapı için bilimsel akıl yürütmeye işaret eden bir açıklama yapan bir biyoloji öğretmen adayının ifadesi şöyledir: *“Kıtlık DNA hasarlarına neden olur ve bireye aktarıldığına göre bu kalıtsal bir değişikliğe sebep olmuş olabilir.” (BÖA15)*. H yapısında gelişmekte olan akıl yürütmeye işaret eden seçeneği işaretleyen öğretmen adayları ise çevrenin hücre fonksiyonunun protein düzeyinde etkileyebileceğine ilişkin çeşitli açıklamalar doğrultusunda bu seçeneğe yönelmişlerdir. Başlangıç düzeyinde akıl yürütmede ise çevrenin özellikleri etkileyebileceğinin farkında oldukları ama

bunun nasıl mümkün olduğunu anlayamadıkları görülmektedir. Ancak çalışmaya katılan öğretmen adaylarının hiçbiri bu anlayışa işaret eden bir açıklama yapmamışlardır. Akıl yürütmenin açık olmadığı açıklamalar incelendiğinde ise çok çeşitli açıklamalar ortaya çıktığı görülmüştür. Örneğin KÖA4 kimya öğretmeni adayı ise “*Açlığın DNA’yı değiştirmeyeceğini düşündüğüm için başka bir etkenin olması gerektiğini düşünüyorum*” şeklinde bir açıklama yaparak çevrenin genetik yapı üzerinde bir değişikliğe sebep olmayacağına ilişkin bir anlayışa sahip olduğunu göstermiştir. Bir biyoloji öğretmen adayı ise “*Bir insanın genleri ne derse desin eğer bir insan çok yemek yerse kilo alır eğer az yerse zayıflar*” diyerek” (BÖA13) bir diğeri ise “*Savaş sonrası bile koşullar kötü olduğu için bir iki kuşak daha zayıf doğmuştur*” (BÖA14) diyerek durumu genlerin etkisinden tamamen çıkararak çevresel koşullara bağlamışlardır.

3.9 I yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin I yapısı, sadece gametlerdeki mutasyonların döllere geçebileceği somatik hücrelerdeki mutasyonların ise sadece atasal hücrelere aktarılacağı fikrine odaklanmaktadır. I yapısına ilişkin soruda tek bir deri hücresinde kendiliğinden ortaya çıkan bir mutasyon sonucu diğer dokulara yayılmayan bir cilt kanseri geçiren bir adam ile cilt kanseri geçirmeyen eşi çocuk sahibi olursa neler olabileceği sorgulanmaktadır. Tablo 12, biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının I yapısına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Tablo 12

I Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelere İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
I- Sadece gametlerdeki mutasyonlar döllere geçebilir	Bilimsel akıl yürütme	9 (%50)	6 (%37.50)	16 (%47.06)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	4 (%25)	8 (%23.53)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	5 (%27.78)	5 (%25)	10 (%23.53)
	Akıl yürütme açık değil	-	1 (%6.25)	1 (%2.94)
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-

Tablo 12 incelendiğinde katılımcıların yanıtlarının %47.06’sının bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Bilimsel akıl yürütme düzeyinde sınıflandırılan öğretmen adayları “*Cilt kanseri mutasyonu sadece adamın deri hücrelerinde bulunduğunu ve çocuklarına geçmediğini, ancak mutasyon nedeniyle erkeğin yeni cilt kanserleri geliştirmesinin mümkün olduğunu*” açıklayan cevabı işaretlemişlerdir. Bu soruda bazı öğretmen adayları açıklamalarında çevrenin genetik bilgi ile etkileşimini yansıtan bazı örnekler sundukları açıklamalar da yapmışlardır. Örneğin BÖA14 kodlu öğretmen adayı “*Dış görünüşün yapay olarak değişmesi ya da modifikasyon kalıtsal değildir. Mesela Çin’de ayakları küçük olsun diye demir ayakkabı giyen kişilerin çocukları da giymek zorunda*” demiştir. KÖA15 kodlu öğretmen adayı ise “*Bu özelliklerin bize işleyebilmesi için gerçekten çok uzun zamanların geçmesi gerekmektedir. Bu biraz saçımı sarıya boyarsam çocuğun sarı saçlı olur mu gibi bir şey, mümkün değildir böyle bir şey*” açıklamasını yapmıştır. Bu açıklamalar deterministik ve klasik genetik bakış açısından kabul edilebilir olsa da son yıllarda epigenetik alanında yapılan çalışmalar çevrenin gen ifadesini değiştirerek fenotipimiz üzerinde bazı etkileri olduğunu da kanıtlar niteliktedir.

3.10 J yapısına ilişkin bulgular

Modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesinin J yapısı organizmanın yaşamı boyunca gen ifadesinin değişebileceğini ifade etmektedir. J yapısına ilişkin soruda gen ifadesinin tanımı verilerek genin

özelliğine ilişkin en doğru seçeneğin işaretlenmesi istenmiştir. Tablo 13 biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının J yapısına ilişkin maddelere verdikleri yanıtların hangi düzeylerde olduğu ile frekans ve yüzdelere göstermektedir.

Tablo 13

J Yapısına İlişkin Düzey/Seviyeler ile Cevapların Frekans ve Yüzdelere İlişkin Bulgular

Yapı	Düzey / Seviye	Cevapların frekans ve % si		
		Biyoloji Öğretmen Adayları (N=18)	Kimya Öğretmen Adayları (N=16)	Toplam (N=34)
J- Organizmanın yaşamı boyunca gen ifadesi değişebilir	Bilimsel akıl yürütme	3 (%16.67)	3 (%18.75)	6 (%17.65)
	Gelişmekte olan akıl yürütme	4 (%22.22)	-	4 (%11.76)
	Başlangıç düzeyinde akıl yürütme	11(%61.11)	13 (%81.25)	24 (%70.59)
	Akıl yürütme açık değil	-	-	-
	Akıl yürütme mevcut değil	-	-	-

J yapısına ilişkin cevaplar Tablo 13’den incelendiğinde biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının ilgili soruya verdikleri yanıtların sadece %17.65’inin bilimsel akıl yürütme düzeyinde olduğu görülmektedir. Buna göre katılımcıların gen ifadesinin canlının yaşamı boyunca herhangi bir zamanda değişebileceğine ilişkin kavramsal anlayışlarının oldukça düşük olduğu söylenebilir. Bu soruya doğru yanıt veren öğretmen adaylarından birinin ifadesi incelendiğinde “*genlerin bazıları zaman ilerledikçe etkin hale gelebilir veya etkinliğini yitirebilir*” (BÖA13) açıklamasını yapmıştır. Bir başka öğretmen adayı ise “*genler mutasyon, hastalık, yanlış sentez vb. durumlar olabileceği için sürekli kontrol altında olmalıdır*” (KÖA10) demiştir. Gelişmekte olan akıl yürütme kategorisi incelendiğinde ise kimya öğretmeni adaylarından hiçbirinin bu seviyede yer almadığı görülmektedir. Bu düzeyde yer alan biyoloji öğretmeni adayları ise “*genlerin menopoz, ergenlik, doğum gibi önemli dönüm noktalarında değişebileceği*” (BÖA4), “*gen oluşum hızının bazı zamanlarda vücut tarafından değiştirilebileceği*” (BÖA7) ve “*ergenlikte kıl ve tüy üretimini sağlayan genlerin pasif durumdan aktif hale geçeceği*” (BÖA14) gibi kısıtlı açıklamalar yapmışlardır. Bu yapı için genlerin değişemeyeceği, düzenlenemeyeceği, kontrol edilemeyeceği şeklinde açıklama yapan veya ilgili şıkları işaretleyen tüm öğretmen adayları (%70.59) başlangıç düzeyinde akıl yürütme kategorisinde sınıflandırılmışlardır. Buna ilişkin öğretmen adaylarının yaptıkları açıklamalardan örnekler şöyledir:

“*Genlerin sonradan değişimi mümkün değildir. Kahverengi göz geni bulunduran birine hayatının hangi döneminde olursa olsun mavi göz geni aktarılmaz ve mavi göz geni bulunmaz.*” (BÖA8)

“*Genler hangi miktarda protein veya RNA ürününün üretilebileceğine karar verir ve yaşam boyu etkin kılar.*” (BÖA12)

“*Genler yaşamımızın her anında etkindir ve ölesiye kadar etkin kalır*” (KÖA8)

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma birinci sınıf biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının Modern Genetik Öğrenme Progresyonu yapılarına ilişkin kavramsal anlama düzeylerini araştırmıştır. Araştırmanın bulguları, katılımcıların, kullanılan modern genetik çerçevesinde bulunan 16 yapıdaki fikirlere ilişkin çeşitli kavramsal anlama düzeylerinde yer aldığını göstermekte ve göreceli olarak güçlü ve güçsüz oldukları alanları aydınlatmaktadır.

Araştırma bulguları, katılımcı öğretmen adaylarının B, C1, E ve F1 yapılarında bilimsel akıl yürütme düzeylerinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu yapılar gen aktarımı, proteinlerin hücrelerdeki işlevleri, genetik materyalin fiziksel geçişi ve genotip-fenotip ilişkisine dair fikirleri içermektedir. Bu fikirleri anlamak genetik kalıtımı ve genetik özelliklerin nasıl ifade edildiğini anlamak için temel oluşturmaktadır. Bu sonuçlar, daha karmaşık genetik kavramları anlamak için klasik genetik ile güçlü bir temel oluşturulması gerektiğinin önemini vurgulayan önceki çalışmalarla (Casto-Faix vd., 2018; Castro-Faix & Duncan, 2022; Gericke & Wahlberg, 2013) uyumludur.

Araştırma, A1, D, F2, F3 ve J yapılarında bilimsel akıl yürütme düzeylerinin oldukça düşük olduğunu ve bu yapılardaki fikirlerin katılımcılar için zorluklar oluşturduğunu göstermiştir. Bu yapılar; genetik bilginin evrenselliği, hücrelerde gen ifadesi, olasılığa dayalı örüntüler, moleküler ve Mendel modelleri arasındaki ilişki ve bir organizmanın yaşamı boyunca gen ifadesindeki çeşitlilik gibi kavramları içermektedir. Çoğunlukla moleküler biyoloji kapsamına giren bu fikirlerin anlaşılmasındaki zorluk, daha önceki araştırma bulgularıyla (Shi vd., 2010; Todd & Romine, 2016) da uyumludur. Örneğin Todd ve Romine (2016) üniversite öğrencileri ile yaptıkları çalışmada kavramsal anlayışı düşük düzeyde olan öğrencilerin; çevrenin hücre, organ/doku üzerindeki etkisini anlayabildiklerini (H3) ancak bu bilgiyi genler, proteinler ve protein ifadesi (H) ile genlerin ne yaptığı (B ve C2) ve gen ifadesi (D) ile bağdaştıramadıklarını belirtmişlerdir. Castro-Faix ve diğerleri (2018) ise F yapısının anlaşılmasının diğer yapıların anlaşılmasını tetikleyici ve kolaylaştırıcı bir özelliği olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada, F2 ve F3 yapılarında bilimsel akıl yürütme düzeylerinde kodlanan katılımcı yüzdesinin düşük olması, bu yapıların diğer yapıların da anlaşılmasını etkileyici bir rol oynama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara ek olarak öğrencilerin gen, DNA, kromozom gibi kavramların büyüklük küçüklük ilişkilerine dair kavramsal anlayışlarının düşük olduğu, alanyazında konu ile ilgili yapılan hemen hemen bütün çalışmalarda da bildirilmektedir (örn: Duncan & Reiser, 2007; Duncan vd., 2009; Kılıç, Taber, Winterbottom, 2016; Saka, Cerrah, Akdeniz, & Ayas, 2006). Öğrencilerin genetik yapıların boyutlarını doğru tanımlayamamaları, DNA ve kromozomlar ile genler arasındaki karşılıklı bağlantıları kuramadıkları anlamına gelmektedir (Kılıç vd., 2016). Bu durumun diğer bir sebebinin de moleküler düzeydeki varlıkların (DNA, RNA ve proteinler) daha ileri düzeydeki olguların anlaşılmasında etkili bir şekilde kullanılamaması (Mil vd., 2016) olduğu düşünülmektedir. Bu araştırmalar, bahsi geçen bilgi eksikliklerini ele almayı hedefleyen öğretim stratejilerine ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca bu durum, genetik eğitiminde, moleküler genetik kavramlarının erken tanıtılmasının önemini de bir kez daha ortaya koymaktadır (Duncan vd., 2016; Todd vd., 2022). Moleküler genetik ve Mendel genetiğinin öğretim sıraları değiştirilerek yapılan çalışmalarda da moleküler genetik öğrenmenin Mendel genetiğini öğrenmeyi kolaylaştırdığı sonucu ortaya çıkmıştır (Duncan, Castro-Faix, Choi, 2016; Duncan, Choi, Castro-Faix, Cavera, 2017). Deutch (2018) ise üniversite öğrencileri ile genel genetik dersinde *Önce Mendel Modeli* ve *Önce Genetik Modeli* olmak üzere iki farklı anlatım sırası izlediğinde, gruplar arasında anlamlı fark bulunmasa da öğrencilerin Hücre Yapısı ve Fonksiyonu gibi temel dersleri almamış oldukları durumlarda önce moleküler yaklaşımın anlatılmasının daha iyi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Biyoloji ve kimya öğretmeni adaylarının tüm yapılar için bilimsel akıl yürütme düzeyleri karşılaştırıldığında A2, C2 ve F3 yapıları hariç tüm yapılarda biyoloji öğretmeni adaylarının daha yüksek düzeylerde yer aldığı dikkat çekici bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Kimya öğretmeni adaylarının genetik yapıların boyutlarını, proteinlerin genler ve karakterler arasındaki bağlantıyı sağladığını ve moleküler-Mendel modelleri ilişkisini biyoloji öğretmeni adaylarından daha iyi açıklayabilmeleri kimya altyapılarına, moleküler düzeydeki etkileşimleri ve protein kimyasını daha derinlemesine anlamalarına atfedilebilir.

Tüm bu sonuçlar, birinci sınıf biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının bilimsel akıl yürütme düzeylerinin yüksek olduğu çeşitli yapılar bulunmasına rağmen moleküler, genetik ve mayotik modeller arasındaki ilişkiyi kurmakta zorlandıklarına işaret etmektedir. Örneğin proteinlerin işlevlerini ve kalıtım örüntülerini anlasalar bile bunların gen ifadesi ile ilişkisini kuramamaktadırlar. Genetik bilgiye dayalı olarak akıl yürütme, bu üç model anlama ve akıcı bir şekilde kullanmayı gerektirdiğinden (Duncan vd.,

2009; Haskel-Ittah & Yarden, 2019) bu durum katılımcıların modern genetik öğrenme progresyonu temelli kavramsal anlayış düzeylerinin bütüncül anlamda da düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, gen ifadesini anlama ve genetik modeller arasındaki ilişkiyi kavrama konusunda öğrencilerin karşılaştıkları zorlukları vurgulayan önceki çalışmalarla (Castro-Faix & Duncan, 2022; Shi vd., 2010) uyumludur. Moleküler genetik konularının klasik modelle bağlantısını kurmak ayrıca genetik determinizmi, yani, özelliklerin oluşumunda genlere mevcut bilimsel bilginin önerdiğinden daha fazla nedensel güç atfetmeyi (Gericke vd., 2021), azaltma anlamında fayda sağlayabilmektedir (Castro-Faix & Duncan, 2022; Donovan, 2022; Todd vd., 2022). Genetik ve çevresel etmenler arasındaki etkileşim vurgulanarak, özelliklerin belirlenmesinde genlerin tek belirleyici olmadığına dair yanlış anlamaların giderilmesi ve genetik süreçlerin daha doğru bir şekilde anlaşılması teşvik edilebilir. Bu sayede, eğitimciler, öğrenciler arasında genetik konulara ilişkin daha dengeli bir bakış açısı oluşturabilirler.

Moleküler modelin anlaşılması ile ilgili en kritik konular, Türkiye 9-12. Sınıflar Biyoloji Dersi Öğretim Programı'nda (MEB, 2013), 12.Sınıfta yer almakta ve sadece fen bilimleri alanına devam eden öğrenciler bu kademede biyoloji dersi almaktadır. Bu çalışmada yer alan öğretmen adaylarının tamamının lisede biyoloji dersi almış olması, bu eğitiminin etkinliğinin sorgulanması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Öğrencilerin ön bilgileri, kullanılan öğretim programı, öğretmenlerin pedagojik alan bilgisi ve içinde bulunulan kültür gibi pek çok faktörün genetik öğrenmedeki rolü düşünüldüğünde (Castro-Faix & Duncan, 2022) öğrenciler için gelişimsel olarak en uygun olacak bir biyoloji öğretim programının önemine vurgu yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Stern & Kampourakis, 2017). Araştırmanın sonuçlarına göre Türkiye'deki mevcut lise biyoloji öğretim programında (MEB, 2018a,b) gen ifadesi ve epigenetik gibi öğrencileri daha yüksek kavramsal anlama düzeylerine taşıyabilecek kritik konuların eksikliği önemli bir endişe kaynağıdır. Bu konuların dahil edildiği ve genetik ilkelerin daha tutarlı ve bağlantılı bir şekilde sunulduğu bir öğretim programı revizyonu önerilmektedir. Bu durum ayrıca genetik eğitiminde bağlam temelli öğretimin önemini de vurgulamaktadır. Eğitimciler, genetik kavramları günlük yaşam bağlamlarıyla ilişkilendirerek öğrenci katılımını artırabilir ve öğrencilerin karmaşık genetik prensipleri daha derinlemesine anlamalarına yardımcı olabilecek öğretim stratejileri geliştirebilirler.

Bu çalışmanın bulguları, çalışmada kullanılan modern genetik öğrenme progresyonu çerçevesine göre tasarlanan maddeleri içerdiğinden Türkiye'de özellikle güncel biyoloji öğretim programlarında (MEB, 2018a, b) lise biyoloji dersi öğretim programında temsil edilmeyen bazı fikirleri (gen ifadesi, evrim, epigenetik gibi) de içermektedir. Bu durum, çalışmanın bir sınırlılığı olarak karşımıza çıkabilir.

Sonuç olarak, çalışma, birinci sınıf biyoloji ve kimya öğretmen adaylarının modern genetik konusundaki kavramsal anlama düzeylerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Alanda ilgili literatürün entegrasyonu; genetik eğitiminde moleküler genetik kavramlarının erken tanıtılmasının, öğretim programının gözden geçirilmesinin, genetik determinizme değinmenin ve günlük yaşam bağlamlarına dayalı öğretimin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada sunulan somut öneriler, eğitimcilerin etkili stratejiler ve öğretim yaklaşımları geliştirmesine rehberlik etme ve genetik öğretimini Modern Genetik Öğrenme Progresyonu gibi daha kapsamlı çerçeveler kullanarak ve etkileyici hale getirerek geleceğin öğretmenlerini genetik bilgisini etkili bir şekilde öğretmeye hazırlamaya yöneliktir.

KAYNAKÇA

- Aliyu, F., & Talib, C. A. (2019). Virtual reality technology: what benefits for Nigerian pre-service chemistry teachers. *Asia Proceedings of Social Sciences*, 4(3), 66-68. doi:<https://doi.org/10.31580/apss.v4i3.856>
- Alonzo, A. C. (2011). Learning progressions that support formative assessment practices. *Measurement*, 9, 124– 129. doi:<https://doi.org/10.1080/15366367.2011.599629>

- Bae, S., Lee, J., & Park, J. (2021). Development of a field-based chemistry experiment teaching model to strengthen pre-service teachers' competence for teaching chemistry experiments. *Asia-Pacific Science Education*, 2(7), 522-548. doi:<https://doi.org/10.1163/23641177-bja10037>
- Banet, E. & Ayuso, E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407. doi:<https://doi.org/10.1080/09500690210145716>
- Beattie, R. (2012). Formative queries for the high school biology classroom. *Probe Booklet 1*. Lincoln-Way East High School, 1-60.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C., & Wilson, M. (2006). *Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items*. *Educational Assessment*, 11(1), 33-63. doi:https://doi.org/10.1207/s15326977ea1101_2
- Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö.E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2012). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. (11. Baskı). Pegem Akademi.
- Casanoves, M., González, Á., Salvadó, Z., Haro, J., & Novo, M. (2015). Knowledge and attitudes towards biotechnology of elementary education preservice teachers: the first Spanish experience. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2923-2941. doi:<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1116718>
- Castro-Faix, M. & Duncan, R. G. (2022). Cross-sectional study of students' molecular explanations of inheritance patterns. *Science Education*, 106, 412– 447. doi:<https://doi.org/10.1002/sce.21692>
- Castro-Faix, M., Todd, A., Romine, W., & Duncan, R. G. (2018). Do alternative instructional approaches result in different learning progressions?. In Kay, J. and Luckin, R. (Eds.) *Rethinking Learning in the Digital Age: Making the Learning Sciences Count*, 13th International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2018, Volume 2. London, UK: International Society of the Learning Sciences.
- Çakır, M. & Aldemir, B. (2013). İki aşamalı genetik kavramlar tanı testi geliştirme ve geçerlik çalışması. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8 (16), 335-353.
- Deutch, C.E. (2018). Mendel or molecules first: what is the best approach for teaching general genetics? *The American Biology Teacher*, 80 (4), 264-269. <https://doi.org/10.1525/abt.2018.80.4.264>
- Donovan, B.M. (2022). Ending genetic essentialism through genetics education. *HGG Advances*, 3(1), 100058. doi:<https://doi.org/10.1016/j.xhgg.2021.100058>
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 938– 959. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., Castro-Faix, M., & Choi, J. (2016). Informing a learning progression in genetics: Which should be taught first, Mendelian inheritance or the central dogma of molecular biology? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 445– 472. doi:<https://doi.org/10.1007/s10763-014-9568-3>
- Duncan, R. G., Choi, J., Castro-Faix, M., & Cavera, V. L. (2017). A study of two instructional sequences informed by alternative learning progressions in genetics. *Science & Education*, 26(10), 1115– 1141. doi:<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9932-0>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D. & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening student' understandings of modern genetics across the 5th- 10thgrades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655–674. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20312>

- Duschl R. A., Schweingruber H.A., & Shouse A. (Eds.), (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. National Academies Press.
- Elmesky, R. (2012). Building capacity in understanding foundational biology concepts: A K12 learning progression in genetics informed by research on children's thinking and learning. *Research in Science Education*, 43(3),1155-1175. doi:<https://doi.org/10.1007/s11165-012-9286-1>
- Erdoğan, A., Cerrah Özsevgeç, L. & Özsevgeç, T. (2014). A study on the genetic literacy levels of prospective teachers. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 8(2), 19-37.
- Etobro, A. B., & Banjoko, S. O. (2017). Misconceptions of genetics concepts among pre-service teachers. *Global Journal of Educational Research*, 16(2), 121-128. doi:<https://doi.org/10.4314/gjedr.v16i2.6>
- Furtak, E. M., Kiemer, K., Circi, R. K., Swanson, R., de León, V., Morrison, D., & Heredia, S. C. (2016). Teachers' formative assessment abilities and their relationship to student learning: Findings from a four-year intervention study. *Instructional Science*, 44, 267-291. doi:<https://doi.org/10.1007/s11251-016-9371-3>
- Furtak, E.M. & Heredia, S. (2016). A virtuous cycle: the formative assessment design cycle: developing tools in support of the next generation science standards. *The Science Teacher*, 83(2), 36-41. doi:https://doi.org/10.2505/4/tst16_083_02_36
- Gericke, N. M., & Wahlberg, S. (2013). Clusters of concepts in molecular genetics: A study of Swedish upper secondary science students' understanding. *Journal of Biological Education*, 47(2), 73– 83. doi:<https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>
- Gericke, N., El-Hani, C.N., Sbeglia, G.C., Nehm, R.H., & Evangelista, N.A.M. (2021). Is Belief in Genetic Determinism Similar Across Countries and Traits?. In: Haskel-Ittah, M., Yarden, A. (eds) *Genetics Education. Contributions from Biology Education Research*. Springer, Cham. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_7
- Güngör, S. N., & Özkan, M. (2017). Evaluation of the concepts and subjects in biology perceived to be difficult to learn and teach by the pre-service teachers registered in the pedagogical formation program. *European Journal of Educational Research*, 6(4), 495-508. doi:<https://doi.org/10.12973/eujer.6.4.495>
- Haskel-Ittah, M., & Yarden, A. (2019). Students' conception of genetic phenomena and its effect on their ability to understand the underlying mechanism. *CBE—Life Sciences Education*, 17(3), ar36. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-01-0014>
- Jones, L., Jordan, K. D., & Stillings, N. (2005). Molecular visualization in chemistry education: the role of multidisciplinary collaboration. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(6), 136-149. doi:<https://doi.org/10.1039/b5rp90005k>
- Karagöz. M., & Çakır, M. (2011). Problem solving in genetics: conceptual and procedural difficulties. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 11(3), 1668-1674.
- Karasar, N. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemi: kavramlar, ilkeler, teknikler*. (İkinci Yazım, 38.Basım). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kılıç, D., Taber, K. S., & Winterbottom, M. (2016). A cross-national study of students' understanding of genetics concepts: implications from similarities and differences in England and Turkey. *Education Research International*, Article ID 6539626. doi:<https://doi.org/10.1155/2016/6539626>

- Knippels, M. C. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3). doi: 10.1080/00219266.2005.9655976
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Chromosomes: the missing link—young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189-199. doi:https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391. doi:https://doi.org/10.1002/tea.20007
- Machová, M., & Ehler, E. (2021). Secondary school students' misconceptions in genetics: origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 1-14. doi:https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136
- Mamombe, A., Kazeni, M., & De Villiers, R. (2016). Context preferences of educators and learners for studying genetics: A case study in South Africa. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 20(2), 165-174. doi:https://doi.org/10.1080/18117295.2016.1187509
- Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205. doi:https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718
- MEB (2013). *Lise Biyoloji (1-2-3-4) Dersi Öğretim Programı*. Milli Eğitim Bakanlığı.
- MEB. (2018a). *Ortaöğretim Biyoloji Dersi Öğretim Programı (9., 10., 11. ve 12. Sınıflar)*. Milli Eğitim Bakanlığı.
- MEB. (2018b). *Ortaöğretim Fen Lisesi Biyoloji Dersi Öğretim Programı (9., 10., 11. ve 12. Sınıflar)*. Milli Eğitim Bakanlığı.
- Öztekin, C., Çapa Aydın, Y., & Yılmaz Tüzün, Ö. (2000). Biyoloji öğretmen adaylarının genel biyoloji konularındaki kavram yanlışları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 140-147.
- Rodriguez-Becerra, J., Cáceres-Jensen, L., Díaz, T., Druker, S., Bahamonde Padilla, V., Perna, J. & Aksela, M. (2020). Developing technological pedagogical science knowledge through educational computational chemistry: a case study of pre-service chemistry teachers' perceptions. *Chemistry Education Research and Practice* vol. 21(2), 638-654. doi:https://doi.org/10.1039/C9RP00273A
- Roseman, J. E., Caldwell, A., Gogos, A. & Kurth, L. (2006). Mapping a coherent learning progression for the molecular basis of heredity. *Presented at the National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting*.
- Rusmana, A. N., Rachmatullah, A., Nuraeni, E., & Ha, M. (2021). The genetics conceptual understanding of Indonesian and United States undergraduate biology students. *Asia-Pacific Science Education*, 7(1), 197-225. doi:https://doi.org/10.1163/23641177-bja10024
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: how do they image the gene, DNA and chromosome?. *Journal of Science Education and Technology*, 15, 192-202. doi:https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6
- Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions: A review of science teachers' pedagogical content knowledge development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530-565. doi:https://doi.org/10.3102/0034654311423382

- Shi, J., Wood, W.B., Martin, J.M., Guild, N.A., Vicens, Q., & Knight, J.K. (2010). A diagnostic assessment for introductory molecular and cell biology. *CBE Life Sciences Education*, 9(4):453-61. doi:<https://doi.org/10.1187/cbe.10-04-0055>.
- Smith, M.K & Knight, J.K. (2012). Using the genetics concept assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses. *Genetics*, 191(1),21-32. doi:<https://doi.org/10.1534/genetics.111.137810>
- Stern, F. & Kampurakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193-225. doi:<https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
- Tatar, N., & Koray, C.Ö. (2005). İlköğretim sekizinci sınıf öğrencilerinin “genetik” ünitesi hakkındaki kavram yanlışlarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Kastamonu Eğitim Dergisi*, 13(2), 415- 426.
- Todd, A. & Romine, W. L. (2016). Validation of the learning progression-based assessment of modern genetics in a college context. *International Journal of Science Education*, 38(10),1673-1698. doi:<https://doi.org/10.1002/sce.21252>
- Todd, A., Romine, W. L., & Correa-Menendez, J. (2019). Modeling the transition from a phenotypic to genotypic conceptualization of genetics in a university-level introductory biology context. *Research in Science Education*, 49, 569-589. doi:<https://doi.org/10.1007/s11165-017-9626-2>
- Todd, A., Romine, W., Sadeghi, R., Cook Whitt, K. & Banerjee, T. (2022). How do high school student’ progression networks change due to genetics instruction and how do they stabilize years after instruction? *Journal of Research in Science Teaching*, 59, 779-807. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.21744>
- Tornabene, R. (2018). *Measuring Student Understanding of Genetics: Psychometric, Cognitive, and Demographic Considerations*, Stony Brook University, ProQuest, LLC.
- Tsui, C. Y., & Treagust, D. F. (2003). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33, 111-135. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1023685706290>
- Uzun, N. & Sağlam, N. (2003). Orta öğretim biyoloji programında genetik konularının değerlendirilmesi ve öğrencilerin genetiğe karşı ilgisinin saptanması. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 29-136.
- van Mil, M. H., Postma, P. A., Boerwinkel, D. J., Klaassen, K., & Waarlo, A. J. (2016). Molecular mechanistic reasoning: Toward bridging the gap between the molecular and cellular levels in life science education. *Science Education*, 100(3), 517– 585. doi:<https://doi.org/10.1002/sce.21215>
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- von Aufschnaiter, C., Alonzo, A., & Kost, D. (2015). Using Learning Progressions to Support Pre-Service Physics Teachers’ Noticing. *In Annual International Conference of NARST*, Chicago, April (pp. 11-14).
- Vosniadou, S. (2019). The development of students’ understanding of science. *Frontiers in Education*, 4(32). doi:<https://doi.org/10.3389/educ.2019.00032>
- Wolyniak, M. J. (2013). Improved student linkage of Mendelian and molecular genetic concepts through a yeast-based laboratory module. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(3), 163–172. doi:<https://doi.org/10.1002/bmb20679>

EXTENDED ABSTRACT

The field of genetics has rapidly developed and offers many advantages for human life in various fields such as health, agriculture, and technology. Scientists can produce drugs or treatments that can prevent diseases early, identify specific genes that imply a particular disease risk, identify people's biological parents or children, and even help catch criminals. Understanding the principles of genetics is essential to understanding other important biological concepts such as evolution and development. Genetic information also informs policy decisions on broader biomedical, technical, and socio-scientific issues, including reproductive technology, cloning, stem cells, genetic testing, and organism genetic modification. Therefore, genetics is a central topic of interest for various fields of study and draws attention to its important role in daily life. Genetics is accepted as one of the most important fields of biology that tries to measure the understanding of students and teachers in this field. Despite this central role of genetics in biology, its complex nature causes many students to struggle with various aspects of the subject. "Learning Progressions (LPs)," one of the areas that science education researchers have focused on in recent years, and which has its origins in constructivism and conceptual change theories, is one of the frameworks used to comprehensively determine their understanding of central issues in science education. The present study aimed to assess the level of understanding of modern genetic learning among first-year university students studying to become biology and chemistry teachers. The study utilized a descriptive survey model and involved 34 participants, 18 of whom were biology and 16 of whom were chemistry pre-service teachers. In the study, based on the Modern Genetic Learning Progression framework, a double-tier test consisting of 16 ordered-multiple-choice (OMC) questions and an explanation part was used as a data collection tool. The test consisted of 16 previously designed formative assessment probes by senior biology pre-service teachers following the Formative Assessment Design Cycle (FADC) steps. The Modern Genetics Learning Progression framework originally consists of 8 constructs related to modern genetics. In the present study it was extended and used as a 16-construct framework. Data collected from participants were scored at five levels, ranging from scientific reasoning to reasoning not available. The data obtained from the participants were analyzed both quantitatively and qualitatively to determine their level of understanding of modern genetic learning. The results of the study indicated that both biology and chemistry student teachers showed particularly strong understanding of the constructs B (genes as information), C1 (proteins do the work of the cell), E (physical transmission of genetic material) and F1 (Correlation between genotype and phenotype). However, the participants had weak understanding of the constructs A1 (universality of the genetic information), D (cells express different genes), F2(probabilistic patterns), F3 (Relationship between molecular and Mendelian models) and J (gene expression changes during an organism's life span). This suggests that students need to understand the relationship between these models to be able to reason scientifically about genetic information. The study also shows that students have difficulty in understanding the relationship between molecular, genetic, and meiotic models. This is consistent with the findings of other studies that have shown that students struggle with understanding the relationship between different models of genetics phenomena. The study suggests that students need to understand the relationship between these models to be able to reason scientifically about genetic information. This may be a limitation of the study, as some of the items designed according to the modern genetic learning progression framework include some ideas (gene expression, evolution) that are not represented in the current biology curriculum in Turkey. In conclusion, the present study assessed the level of understanding of modern genetic learning among first-year university students studying to become biology and chemistry teachers. The study found that students had a strong understanding of some constructs related to modern genetic learning but struggled with others. The study also suggests that students need to understand the relationship between different genetic models to be able to reason scientifically about genetic information. The study provides insight into the effectiveness of current teaching methods and by highlighting the importance of early introduction of molecular genetic concepts, revising the curriculum, addressing genetic determinism, and incorporating instruction based on everyday life contexts to better prepare future biology and chemistry teachers in the realm of modern genetics.