

## Going Beyond the Gene: Epigenetics in Biology Education

Sibel İNAN

Ministry of National Education, İstanbul - Turkey

### Article History

Submitted: 13.02.2021

Accepted: 26.03.2021

Published Online: 30.04.2021

### Keywords

Epigenetics

Genetics

Curriculum

Biology



DOI: 10.29129/inujgse.867966

### Abstract

Although many of the questions asked about DNA and the molecular structure of the gene have been answered, according to recent research, not everything consists of genes. Common genetic analysis in the fields of biology and medicine remains insufficient. Environmental factors can cause changes in gene expressions concerning the whole process from embryo formation to the last moment of life. Gene expressions manifest themselves differently in each cell. The branch of science that examines the external sources that cause genes to be active or passive is called "epigenetics" which literally means "above genetics". Epigenetic changes occur without causing a change in the base sequence, are passed on to subsequent generations, and are often reversible. Epigenetic signs reveal the mechanical link between environment, nutrition, and diseases. Epigenetics is important in the development of human and public health, benefiting from health services, understanding the genetics of complex traits, and determining the social position of the human being. The current secondary education program needs to be updated in order to educate scientifically literate citizens who are compatible with the science of the 21st century. Epigenetics is as important a field of study as genetics. This is a review of the literature on epigenetics. It has been determined how the teaching of genetics, which includes epigenetics, is included in the curriculum in different countries. Based on all these, the reasons why epigenetics should be included in the secondary education curriculum are explained in this study.

## Genin Ötesine Geçmek: Biyoloji Eğitiminde Epigenetik

Sibel İNAN

Ministry of National Education, İstanbul - Turkey

### Makale Geçmişi

Geliş: 13.02.2021  
Kabul: 26.03.2021  
Online Yayın: 30.04.2021

### Anahtar Sözcükler

Epigenetik  
Genetik  
Öğretim programı  
Biyoloji



DOI: 10.29129/inuigse.867966

### Öz

DNA ve genin moleküler yapısı hakkında sorulmuş soruların birçoğu cevaplanmış olsa da son yıllarda yapılan araştırmalara göre her şey genlerden ibaret değildir. Biyoloji ve tıp alanlarında yaygın genetik analizler yetersiz kalmaktadır. Çevresel etmenler embriyodan yaşamın son anına kadar geçen süreçte gen ifadelerinde değişiklikler oluşmasına neden olabilmektedir. Gen ifadeleri kendilerini her hücrede farklı şekilde gösterir. Genlerin aktif veya pasif halde bulunmasına neden olan harici sebepleri inceleyen bilim dalına kelime manası "genetiğin üstünde" anlamına gelen "epigenetik" adı verilir. Epigenetik değişiklikler baz dizisinde bir değişime neden olmadan ortaya çıkar, sonraki nesillere aktarılır ve çoğu kez geriye dönüşümlüdür. Epigenetik işaretler çevre, beslenme ve hastalıklar arasındaki mekanik bağı ortaya koyar. İnsan ve toplum sağlığının yukarı çekilmesinde, sağlık hizmetlerinden yararlanmada, karmaşık özelliklerin genetiğini anlamada ve insanın sosyal konumunu belirlemede önem arz eder. Mevcut ortaöğretim programı 21. yüzyılın bilimiyle uyumlu ve bilimsel okuyazar yurttaşlar yetiştirmek için güncellenmeye ihtiyaç duymaktadır. Epigenetik, genetik kadar önemli bir çalışma alanıdır. Bu çalışma epigenetik üzerine literatür taraması yapılmış bir derlemedir. Epigenetiğin yer aldığı genetik konusunun öğretiminin farklı ülkelerde müfredat içerisinde nasıl yer aldığı belirlenmiştir. Bütün bunlardan hareketle bu çalışmada epigenetiğin ortaöğretim ders programında yer almasının gerekçeleri anlatılmıştır.

## GİRİŞ

Bilim ve teknoloji alanındaki hızlı ve artan gelişmeler ülkelerin eğitim politikalarının gözden geçirilmesine neden olmaktadır. Eğitimin amaçlarından biri olan toplumun ihtiyaçlarını giderecek nitelikli bireylerin yetiştirilmesi ve bunu sağlayacak eğitim politikalarını oluşturmak, çağın değişimini yakalamak isteyen devletlerin öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler verdikleri eğitimin ve özellikle de fen eğitiminin kalitesini artırmak için çaba göstermektedir (Eş ve Sarıkaya, 2010). Bilimin yaygınlaşması değişen ve gelişen toplumla eş zamanlı olmaktadır. Bu durum bilimin her seviyeden insana öğretilmesi, toplumun sosyo-bilimsel konuları anlaması, birey bazındaki etki değerinin artmasına neden olan süreci beraberinde getirmektedir. Herkes için bilim kavramını 1847 yılında kullanan Londra'nın Kraliyet cerrahlarından James Wilkonson, toplum için gerekli bilimsel bilginin ne olması gerektiğini de düşündürmektedir (Hurd, 1998).

Son yıllarda gelişmişlik düzeyini artırmak isteyen ülkelerin eğitim reform hareketlerinin en önemli öğelerinden biri, bilim ile sözde-bilimin birbirinden ayırt edilebilmesi ve bilimin sınırlılıklarının anlaşılabilmesi anlamında kullanılan bilimsel okuryazarlık kavramıdır (Hurd, 1998; Turgut, 2007). Bilimsel okuryazarlık bilimle ilişkili tartışmalarda örneğin sosyo-bilimsel konularda (Sadler, 2004) öne sürülen iddiaları ve gerekçeleri anlayabilme, bilimsel bilginin normlarını, metotlarını ve nasıl kullanılacağını bilmek olarak tanımlanmaktadır. Bilimsel okuryazarlık kavramı ilk olarak 1950'li yılların sonunda ortaya çıkmış, ne olduğuyla ilgili tam bir uzlaşa sağlanamamış ve ülkelerin ihtiyaçları doğrultusunda birçok farklı anlamıyla tanımlanmış olmakla birlikte bilimin daha çok sosyal yanını ön plana çıkararak, disiplinler arası düşünebilmeyi, günlük yaşamla ilişkili doğasını vurgulayan bu kavram fen eğitimi politikalarının en önemli sloganı olmuştur (Çepni, Bacanak & Küçük, 2003; Erdoğan ve Köseoğlu, 2012; Turgut & Fer, 2006).

Okullarda uygulanan öğretim programları ülkelerin eğitim felsefesini de yansıtmaktadır. Dünya genelinde birçok ülkenin öğretim programında vizyon olarak gösterilen bilimsel okuryazarlık, Türkiye'de de dikkate alınarak son 20 yılda yapılan önemli reform çalışmaları içerisinde yerini almıştır. Bilimsel okuryazarlık ya da fen okuryazarlığı kavramı ilk olarak 2000 ve 2004 yıllarında ilköğretim müfredatında, 2013 yılında ortaöğretim kademesindeki ders programlarında vurgulanmıştır (Bağcı-Kılıç, Haymana ve Bozyılmaz, 2008; Tekin, Aslan ve Yağız, 2016). 2013'deki programda bilimin teknoloji ve toplumla ilişkili olan konuları sosyo-bilimsel konular olarak yeniden düzenlenmiştir. Sonraki yıllarda ortaokul ve lise öğretim programı kapsamında da sosyo-bilimsel konulara yer verilmiştir (MEB, 2017; MEB, 2018). Biyoloji Dersi Öğretim Programı'nda güncellemeler yapılmış, 2017'de "bilim ve teknoloji yeterliliği" başlığı içerisinde, 2018-2019 yıllarında ise "biyoloji ile günlük hayat arasında ilişki kurma" özel amaçlar başlığı altında yer almıştır.

Bilimde yaşanan değişimler hem eğitim alanında hem de sosyal düzenin yeniden yapılandırılmasında etkisini göstermektedir. Bu değişimlerin gözden geçirilmesi ve okullarda uygulanan programlara yansıtılması önemli bir ihtiyaçtır. Okullarda uygulanacak programların, toplumsal gereksinimlere ve değişimlere cevap verebilmesi için sık sık gözden geçirilip geliştirilmesi gerekmektedir (Koca ve Şimşek, 2001). Biyoloji konularının yeni buluşlar ile değişen dinamik yapısı uygulanacak program içeriğinin de gözden geçirilmesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Gelişmiş ülkeler program geliştirmeye önem vermekte ve bununla ilgili çok sayıda projeler yürütmektedir. Avrupa ülkelerinde 1940'lı, ABD'de 1960'lı yıllarda başlamış olan program geliştirme çalışmaları diğer pek çok ülkenin müfredat geliştirme hazırlıklarını etkilemiştir. Bu çalışmaların ortak özellikleri fen eğitimcileri ve bilim insanları arasında uzlaşa sağlanması olup, her seviyede insanın bilmesi gereken konular belirlenmiştir (Gezer ve diğ., 2003). Ülkemizde de son yirmi yıldır uygulanan biyoloji ortaöğretim müfredatında bilimsel okuryazarlık kavramı vurgulanmış ve bilimsel yenilikler: insan genom projesi, klonlama, biyoteknoloji uygulamaları, islah, gen terapisi, DNA parmak izi, genetiği değiştirilmiş organizmalar, rekombinant DNA çalışmaları gibi konular güncel olarak öğretim programında yerini almıştır. Bu yeniliklerin bilim

dünyasındaki değişim hızı ile eş zamanlı olması göz ardı edilmemesi gereken önemli bir konudur. Kalıtım bilimindeki yeniliklerin mevcut öğretim programında yer alması da önemli bir ihtiyaçtır.

Kalıtım biliminde, 20. yüzyılın sonlarına doğru gen kavramının ne olduğu tanımlanmış, canlının tüm özelliklerini belirleyen bilginin DNA dizilimi olduğu belirtilmiştir. Bu durum genetik determinizm olarak da bilinen, canlının özelliklerinin sadece gen kalıtımı ile ortaya çıktığı ve genin istikrarlı değişmez bir yapıda olduğu görüşüne kaynaklık etmiştir. 20. yüzyıl biyolojisinin gen merkeziliği aslında herhangi bir kanıt dayalı olmasından çok fizik bilimlerinde zaten zayıflamış olan mekanik bir ideolojiye dayanmaktaydı (Newman, 2013). İnsan Genom Projesi öncülüğünde genom çalışmaları hastalıkların nedenleri ve tedavisi için önemli bir başlangıç olmuştur. “Genlerimiz Kaderimizdir” mottosu bu yüzyılda toplumsal olarak etkilerini çok geniş bir alanda göstermiştir. Genin keşfi ve gen üzerine çalışmalar insan hayatını, insan ürünü olan birçok kültürel üretimi ve üretim biçimini de etkilemiştir. Genetik determinizme neden olan inançlar hoşgörüsüz tutumların (cinsiyetçilik veya ırkçılık gibi) doğmasına neden olmuştur (Castera ve Clement, 2014). Örneğin genetik olarak iyi olanların seçilmesini gerekli gören görüşler (öjenizm) gen ayrımcılığının sosyolojik ve etik açıdan tartışılmasına neden olmuştur. Yine bu yüzyılda edebiyat alanında, edebiyattan türetilen sinema ürünlerinde ve özellikle bilim kurgu temalı filmlerde gen çalışmaları ile ortaya tasarımı ürünü bireyler çıkartılabileceği gösterilmiştir.

Bununla birlikte yine o yıllarda genetiğe gelişimsel bir anlayışla yaklaşan Conrad Waddington, bir ayağı embriyolojide bir ayağı genetik biliminde olan epigenetik kavramını, genetik bilimine nazaran daha dinamik ve sürece ağırlık veren yanı ile ortaya atmıştı (Keller, 2004). 1950’li yıllarda tartışılan fakat pek rağbet görmeyen kalıtımın epigenetik mekanizmaları çevre ile kalıtım veya doğa ile beslenme arasındaki ilişkiye daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Filozof ve bilim tarihçisi Evelyn Fox Keller, biyolojik yapı ve işlevin temel açıklayıcı kavramının “gen” olduğu dönemin sona ermek üzere olduğunu söyleyerek genetiğin kurucu varsayımlarının çoğuna meydan okumuştur (Bloomfield & Hanson, 2015). Genetik determinizm görüşünün tartışıldığı ve genden daha ötesine geçildiği 21. yüzyıl dönemi genlerin değil epigenetiğin yüzyılı olmaktadır. Bütün bunlardan hareketle epigenetik kavramının ne olduğunu tanıtmak ve öğretim programında neden yer alması gerektiğini dünyada kullanılan örnekleriyle birlikte anlatmak amaçlanmıştır. Çağın değişimini yakalamak isteyen ülkelerin eğitim politikalarını belirlemede epigenetik gibi güncel bir konunun yer alması önemlidir.

### **Epigenetik Kavramı ve Önemi**

Vücudumuzdaki her hücrenin genetik materyali olan DNA, genotipi ve dolaylı olarak da fenotipi belirlemektedir. Genotipi oluşturan genler yani DNA dizilimi hücrelerin, organizmaların çalışması için ihtiyaç duyduğu bir takım enzim ve proteinlerin sentezlenmesini yöneterek “fenotip” yani dış yapının ortaya çıkmasında belirleyici rol oynar. Epigenetik, genetik yapıdaki (genotip) değişikliklerden kaynaklanmayan ancak genlerin ifadelerindeki değişiklikleri yani genlerin fenotipi oluşturma farklılıklarını inceleyen bilim dalıdır. Gen ifadeleri kavramı esasında biyolojinin iki önemli sorununa değinmektedir: karmaşık çok hücreli bir organizma tek bir döllenen yumurtadan gelişirken nasıl farklılaşmakta ve hangi moleküler mekanizmalar fenotip kalıtımına katkıda bulunmaktadır (Bock & Lengauer, 2008). Epigenetik, gen dizilişleriyle değil, gen ifadesinin kalıtsal düzenlenmesi yoluyla fenotipi nasıl etkilediği ile ilgilenmektedir. Yunanca’da üstüne, yukarıya anlamlarına gelen “epi-” kısaca genetiğin üstünde yapılan değişimler manasına gelmektedir. Bu terim ilk olarak İngiliz embriyolog Waddington tarafından 1940 tarihli “Organizers and Genes” adlı kitabında türetilmiş; çevresel koşulların gen ifadesini etkileyebileceği ve dolayısıyla gelişimi değiştirebileceğinden söz edilmiştir. Yirminci yüzyılın başlarında epigenetik teorisi organizmayı çevresel faktörler arasındaki reaksiyonun bir ürünü olarak tanımlarken, günümüzde ise “genlerin tek başına açıkla(ya)madıklarıyla ilgili kavramlar” olarak ifade edilmektedir (Pickersgill ve diğerleri, 2013).

Epigenetik değişimler sonucu proteinler ve RNA, DNA dizilimini değiştirmeden gen aktivitelerini düzenleyebilmektedir. Genlerin protein üretme kodlarını sağlaması gibi, epigenetik işaretler adı verilen

çeşitli kimyasallar talimatlar vererek genlerin ne zaman ve nasıl çalışacağını belirlemekte, gen ifadelerini baskılamakta, susturmakta veya bazı genleri aktive edebilmektedir. Epigenetik mekanizmaların bir diğer özelliği DNA dizisindeki mutasyonlara oranla daha düşük hata oranı ile baz çifti değişimleri görülmektedir bu da epigenetik bilginin hücrel farklılaşma sırasında dinamik olarak yeniden programlanabilir olduğunu düşündürmektedir (Bock & Lengauer, 2008). Çeşitli epigenetik mekanizmalar, DNA'nın paketlenmesini ortaklaşa kontrol etmekte, böylece hangi genlerin transkripsiyon için erişilebilir olduğunu belirlemektedir.

Bu epigenetik mekanizmalar üç başlıkta incelenebilir. Bunlar DNA metilasyonları, histon modifikasyonu ve kodlanmayan (non-coding) RNA regülasyonudur. DNA'yı doğrudan etkileyen metil gruplarının DNA parçalarına bağlanması sonucu ortaya çıkan DNA metilasyonu bunlardan en yaygın olanıdır. Genellikle düşük metilasyon seviyelerinin potansiyel aktivite, yüksek seviyelerin ise hareketsizlikle (protein sentezinin durması şeklinde) ilişkili olduğu ve bazı metilasyonların rastlantısal, diğer bir kısmının da belirli çevresel veya gelişimsel uyarılara yanıt olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir (Jablonka & Lamb, 1998). Basitçe ifade etmek gerekirse, DNA'daki sitozin bazının bir hidrojen atomu bir metil grubu (CH<sub>3</sub>) ile değiştirilir. Metil gruplarının gen bölgelerine bağlanması genlerin kendini ifade etmesini engeller, genler kapatılır ya da susturulur, bunun sonucu bu gen bölgesinden protein üretimi sağlanamamaktadır. DNA metilasyonu sonucu kanserle ilgili genlerin ifadelerinde değişiklikler meydana gelir, kromozomların kararlılığını yitirmesiyle birlikte bu durum onkogenleri (kanseri oluşturan genler) aktive eder. Özellikle birçok kanserin epigenetik modifikasyonlardan kaynaklandığı saptanmıştır (Hillman & Dale, 2018), kanser genomu, kanserin erken teşhisi, gelişim takibi ve epigenetik ilaçlar üzerine çalışmalara yer verilmiştir (Pickersgill et al, 2013).

Epigenetik değişiklikler sadece kanser hastalığıyla da sınırlı değildir. Tip 2 diyabet, insülin direnci ve obezite gibi metabolik hastalıklar yanında psikoloji, depresyon, şizofreni ve otizm gibi yıkıcı nöropsikiyatrik bozukluklarla da yakından ilişkilidir (Hillman & Dale, 2018; Kang, Daines, Warren & Cowan, 2019; Kuehner, Bruggeman, Wen & Yao, 2019; Viltart & Vanbesien-Mailliot, 2007). Tüm bunlar beslenme alışkanlıkları ile hastalıklar arasındaki ilişkinin tahmin edilenden çok daha fazla olduğunu akla getirmektedir. Tek yumurta ikizi kardeşlerin birbirinden neden farklı olduğunu örneğin birinin kanser hastası iken diğerinin olmayışı, yaşlanmada etkili faktörler, zihinsel bozukluklar ve ayrıca otoimmün hastalıklarda da epigenetik mekanizmaların ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Bock & Lengauer, 2008; Hillman & Dale, 2018). Sigara içen bireylerin DNA metilasyonunda iz bıraktığına, akciğer ve kardiyovasküler hastalıklar, sağlıklı sperm üretimi ve normal embriyo gelişimi üzerindeki doğrudan etkisine dair bulgulara rastlanmıştır (Hillman & Dale, 2018; Marczylo, Amoako, Konje, Gant & Marczylo, 2012). Hatta sigarayı bıraktıktan 5 yıl, ancak bazılarında ise 30 yıl sonra gen ifadelerindeki değişikliğin olduğu bölgelerin normale döndüğü belirlenmiştir (Joehanes ve diğerleri, 2016).

Sağlık ve hastalıkla ilgili araştırmalar beslenmenin genom aktivitesini ve beden fizyolojisini şekillendirebilmektedir (Landecker, 2011). Örneğin obezite hastalarının kilo vermesinin başarısızlıkla sonuçlanan çalışmaları durumun ardındaki nedenin epigenetik olduğunu ortaya koymaktadır. Genetik olarak özdeş farelerin ağırlığına bakıldığında iki farklı fenotip tespit edilmiş olup obez hayvanlardaki gen ifadesinin daha düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir (Dalgaard ve diğerleri, 2016). 1944-45 yıllarında 2. Dünya savaşının çok soğuk kışında, çok yoğun bir açlık döneminde Alman hamile kadınların yetersiz beslenmesinin, bu kadınların torunlarını etkileyerek kardiyovasküler riskleri artırdığı hatta normal miktarda yiyeceğe ulaştıklarında sağlıklı görünseler de yetişkinlik döneminde obezite, diyabet ve kalp hastalıkları yaşadıkları belirlenmiştir (Roseboom, Rooij & Painter 2006; Viltart & Vanbesien-Mailliot, 2007). Savaş tarihindeki olaylar bunlarla da sınırlı değildir. 1970'lerin sonlarında Kamboçya'da Kızıl Kmerler tarafından binlerce insanın açlığa terk edilmesinin günümüzde Tip 2 diyabetteki artışla ilişkisi olduğu düşünülmektedir (Silberner, 2014). Sağlıklı yaşam için spor yapmanın epigenetik mekanizmalar için etkili olduğunu gösteren çalışmalardan da söz etmek mümkündür. Düzenli olarak yapılan egzersizin sperm DNA metilasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 24 erkek ile yapılan çalışmada 3 aylık

egzersiz sonrasında egzersiz yapmayanlara göre farklılık olduğu, spor yapmanın eşey hücrelerindeki DNA metilasyonunda değişiklikler meydana getirdiği tespit edilmiştir (Denham, O'Brien, Harvey & Charchar, 2015).

Epigenetik mekanizmalarla ilgili çalışmalar çevresel koşulların üzerimizdeki etkisinin çok daha fazla olduğunu ve çevresel etkileşimin sadece biyolojik alanlarla da sınırlı olmadığını göstermektedir. Belirli ebeveyn davranışlarının yavrulardaki gen metilasyonlarında belirgin etkiler bıraktığını gösteren çalışmalar bu etkileşimin biyososyal, kültürel hatta toplumsal travmalarda bile etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Fare yavruları üzerinde yapılan bir çalışma ebeveynlik davranışının (annenin yavrularını yalaması ve tımarlaması) glukokortikoid reseptör genindeki metilasyonu etkilemiş, böylece yüksek seviyede yalama ve tımar, yavrulardaki stres tepkileriyle baş etmelerini sağlamıştır veya belli ebeveyn davranışlarının çocuklar üzerinde önemli etkileri olduğu, buna göre evde anne babası tarafından yetiştirilen çocukların yetimhanede büyüyen çocuklara göre daha geniş bir dizide metilasyon farklılaşmasının olduğu tespit edilmiştir (Bloomfield & Hanson, 2015). Sosyo ekonomik koşulların embriyonik gelişim ve çocukluk dönemindeki etkilerinin yetişkinlik dönemi hastalıklarıyla yakından ilişkili olduğunu, bu nedenle hem biyolojik hem de sosyal süreçlerin gen ifadelerini etkilediğini anlatan çalışmalardan da söz edilmektedir. Çocuklukta dezavantajlı bir sosyo ekonomik ortama maruz kalmanın, yetersiz beslenme ve tekrarlayan enfeksiyonlar gibi kısıtlamaların olduğu erken dönem koşullarının yetişkinlikte kardiyovasküler, solunum, psikiyatrik, bağışıklık mekanizması hastalıkları ve strese karşı gösterilen tepki gibi insan sağlığı ile ilgili konularla ilişkili olduğunu gösteren kanıtlar vardır (Barker, 1990; Borghol et al., 2012; Viltart & Vanbesien-Mailliot, 2007).

Epigenetik, genetiği kromozom, DNA, genler ile sınırlamaktan öte çevresel faktörlerin de genetiği etkileyebildiğini, hangi genlerin açık hangilerinin kapalı olduğunu açıklayan bir çalışma alanıdır. Bu nedenle çevresel etmenler olumsuz sayılabilecek sigara, alkol, kötü beslenme alışkanlıkları ile sınırlı kalmamakta, besin maddelerine erişim, bolluk veya kıtlık dönemleri hatta ebeveyn davranışları gibi psikolojik öğeler de insanlarda epigenetik değişimlere neden olmaktadır. Epigenetik konusunda ilginç olan nokta epigenetiğe sebep olan etmenlerin sonuçlarının sadece bu etmenlere maruz kalan bireylerde değil, nesiller boyunca kalıtılabilmesidir (Bloomfield & Hanson, 2015; Kang, Daines, Warren & Cowan, 2019). Avrupa'da bazı göçmen grupları üzerine yapılan bir çalışmada savaş veya başka bir gerekçeyle güvenli yerlere yerleşenlerin çocuklarında yani "ikinci nesil" göçmenlerde şizofreni vakalarında artışlar olduğu tespit edilmiştir (Corcoran ve diğ., 2009). Ayrıca yavru bakımı, evlat edinme veya zenginleştirilmiş ortamların doğum öncesi dönemde yaşanan stres kaynaklı olumsuz koşulların etkisini azalttığını gösteren bulguların ortaya çıkması epigenetik etkilerin tersine çevrilebileceğini de göstermektedir (Viltart & Vanbesien-Mailliot, 2007). Epigenetik mekanizmaların miras alınabildiği veya ebeveynlerden çocuklarına beslenme veya davranış kalıpları ile geçebildiğinin bilimsel ispatı bireylerin diyet alışkanlıklarının ve ebeveyn davranışlarının yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Biyolojik kadercilik de denilen genetik determinizm yerine bedeninin çevresel müdahaleye açık olduğunu ve bunların nesiller boyunca aktarılabilirdiği bilgisi toplumsal öğelerin nasıl şekillendirilmesi gerektiğini sorgulamamıza neden olmaktadır.

### ***Neden Epigenetik Öğretilmeli?***

Epigenetik bize genlerimizi nasıl değiştireceğimizi öğretmez, ancak bu kavramın genetikle ilgili temel kavramlarla bütünleşmesi çevrenin etkisinin hem gelişimsel açıdan ne kadar etkili olduğunu hem de biyolojik ve sosyal olaylar arasındaki etkileşimin toplumsal ve kültürel öğelerin oluşmasındaki önemini anlamaya yardımcı olmaktadır. 2000'li yılların projesi olan İnsan Genom Projesi insana dair her türlü bilgiye erişileceğini ve birçok hastalığın çözüleceği umudu ile başlamıştır. Ancak genom projesi beklenenin aksine hastalıklarla ilgili pek çok soruyu yanıtsız bırakmıştır. Tıp alanındaki gelinen son nokta çevresel faktörlerin de hastalıkların oluşmasında çok büyük bir rolü olduğunu ortaya koymaktadır.

Genetik denildiğinde artık gen, DNA ve kromozomla birlikte çevresel etmenler de akla gelmektedir. Yapılan bir çalışmaya göre PubMed adlı tıbbi araştırmaların yapıldığı internet veri tabanında genetik ve epigenetik ile ilgili son 50 yıldır yayımlanan makale sayılarındaki artış dikkat çekmiş ve epigenetiğin yayın hacmindeki kayda değer artışın 10 yıl içinde (2029 yılı) tüm genetik makalelerinin %20,7'sine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Kang, Daines, Warren & Cowan, 2019). Bu alandaki çalışmaların artışı 2010 yılında yedi ülkenin yönetiminde yer aldığı Uluslararası İnsan Epigenom Konsorsiyumu'nun kurulmasını teşvik etmiştir. Kuruluşun nihai amacı sağlıklı ve hastalıklı insan hücrelerinden en az 1.000 referans epigenomu üretmek ve insan epigenomları için referans haritaları çıkarmaktır (Bae, 2013).

Darwin'in geliştirdiği evrim teorisine göre adaptif değişiklikler bireyler arasındaki kalıtsal farklılıkların seçilmesiyle meydana gelir. Popülasyonlardaki fenotipik çeşitliliğin altında çok büyük bir oranda genetik varyasyon yatar ve varyasyonun nihai kaynağı, genleri oluşturan DNA bazlarının dizilerindeki rastgele değişikliklerdir. Modern evrim teorisine göre genler nesilden nesile dış faktörlerden etkilenmeden geçmektedir. Çevrenin rolü kalıtsal çeşitliliğin oluşumunda değil seçiminde yatmaktadır. Bu nedenle modern evrim teorisinde çevrenin kalıtsal değişimlere neden olabileceği fikrine çok az yer vardır. Çevrenin varyasyon oluşturmadaki rolü sadece mutasyon oranını etkileyebileceği ile sınırlıdır, bununla birlikte, mutasyonun rastgele olduğu ve mutasyon oranının düşük olduğu düşünüldüğünden, çoğu amaç için mutasyon oranındaki küçük çevreye bağımlı farklılıkların güvenli bir şekilde göz ardı edilebileceği varsayılmıştır (Jablonka, & Lamb, 1998). Ancak epigenetik sistemlerin keşfi varyasyon oluşturmada en az mutasyonlar kadar hatta mutasyonlardan çok daha sıklıkta adaptif olduğunu ortaya koymuş, tek hücreli ökaryotlar, bitkiler ve bitkilerden daha az yaygın olmakla birlikte hayvanlarda özellikle böcekler ve memelilerde epigenetik kalıtım sistemlerinin (fenotiplerini ikinci kuşaklara iletmelerini sağlayan hafıza sistemleri) olduğundan söz edilmiştir (Jablonka & Lamb, 1998). Bu bilgiler ışığında modern evrim kuramının işleyiş mekanizmasında çevrenin varyasyon kaynaklarını oluşturmadaki etkisi yeniden düzenlenerek anlatılmalıdır.

Kalıtım artık DNA'dan daha fazlasıdır. Bilgi, bir nesilden diğerine DNA'nın temel dizisi dışında başka yollarla da aktarılabilir. Varyasyon oluşturmada etkili faktörler arasında artık epigenetik faktörlerin olduğu kabul edilmektedir. Tek bir organizmanın gelişiminden bir türün evrimine kadar geçen bir dizi zaman ölçeğinde aynı DNA dizilimine sahip bireylerin nasıl farklılaştığını açıklayan epigenetik, genetik ve gelişimsel biyoloji arasında köprü kurmaktadır (Drits-Esser, Malone, Barber & Stark, 2014). Ancak bu kavramdan mahrum kalan öğrencilerin doğal seçim yoluyla evrimi anlamalarında engeller ortaya çıkabilir. Popülasyon düzeyinde akıl yürütememe, öğrencilerin doğal seçim yoluyla evrimi anlamalarının önündeki en büyük engellerden biridir. Popülasyondaki sürekli varyasyonları (gen ve çevre etkileşimi ile ortaya çıkan çok fazla sayıda çeşidi olan varyasyon) örneğin uzunlukla ilgili fenotip çeşitliliğini anlamakta zorlanan öğrenciler evrimsel mekanizmanın nasıl işlediğini açıklarken bir bireyin gelişim biyolojisini türün evrimi ile karıştırabilir (Dougherty, 2010). Epigenetik mekanizmaların öğretimi popülasyondaki çeşitliliğin gerekçelerini açıklamada ve evrimsel süreçlerin nasıl işlediğini anlamada önemlidir. Kuşaklar arası epigenetik işaretlerin geçişine ilişkin kanıtlar buldukça epigenetiğin önemini dikkate almak gerekli hale gelmektedir (Kuzawa & Thayer, 2011).

Bir kişinin epigenetiğini bilmek belirli bir hastalığa yönelik tedavi türüne karar vermede etkili yöntemi bulmaya yardımcı olabilmektedir. Genetik ve epigenetik çalışmalar esas alınarak hazırlanan tedavi yöntemlerinde kistik fibrozis, kardiyovasküler hastalıklar ve özellikle kişisel farklılıkların önem arz ettiği kanser hastalığında (Süt, 2019) kişiye özel yöntemlerin tercih edilmesi son dönemin revaçta olan "Kişiselleştirilmiş Tıp" kavramını da ön plana çıkarmaktadır. Hastalık merkezli yaklaşım yerine daha hasta merkezli bir yaklaşıma kayan kişiselleştirilmiş tıp, kişinin genetik yatkınlıklarının tespiti sonrasında olası risklerini belirlemede, yaşam koşullarının bu riski azaltmaya yönelik olarak düzenlenmesinde önleyici tedavi açısından veya tedavide kullanılacak ilaçların kişiye özel seçiminde çok yararlıdır. Epigenetik

sağaltıcıların kullanıldığı kombinasyon tedavileri özellikle kanser için büyük bir umut vaat etmektedir (Sharma ve diğ., 2010).

Epigenetik bilgisi cinsiyetin ve cinsel kimliklerin oluşumunda etkili öğelerin biyoloji ve psikolojinin iç içe geçen öğeler olduğunu göstermektedir. Annelerde yüksek stresin ana rahmindeki erkek hormon düzeyini düşürdüğünü ve bunun sonucunda kendi cinsine yakınlık gösteren erkek farelerin doğduğunu gösteren çalışmalar eşcinsel eğilimlere yönelik doğal örneklerin tarih sahnesinden de toplanabileceğini akla getirmiştir. Bu bulgulardan hareketle yola çıkan Alman nöroendokroloji uzmanı Günter Dörner beyin cinsiyeti oluşumunda hormonların etkisini araştırmıştır (Moir & Jessel, 1992). 800 eşcinsel erkeğin çoğunun II. Dünya Savaşı yıllarında veya savaşın hemen sona erdiği yıllarda doğmuş oldukları ve bu erkeklerin annelerinin savaş yıllarında ölüm acısı, bombalar gibi aşırı stresli etkenlere maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Savaş koşulları dışında barbiturat tarzı (uyku ilacı, sakinleştiriciler) ilaçların veya bağımlılık yapan maddelerin kullanımının beyin cinsiyetinin oluşumunda etkili hormon salınımını olumsuz etkilediği, erkeklerde cinsel kimliğin ve cinsel rol davranışlarının yitirilmesine sebep olduğu belirtilmektedir (Moir & Jessel, 1992; Ünal, 1991). Bu çalışmalar toplumsal cinsiyet kavramında sıkça karşılaşılan konulardan olan eşcinsel eğilimlerin gerekçelerini açıklamada gen mi yoksa çevre mi daha etkilidir tartışmalarının artık ateşkesle sonuçlanması gerektiğini, biyoloji ve psikolojinin etkileşim içerisinde olduğunu anlatabilmek için epigenetik bilgisi gereklidir.

Epigenetiğin genetikten en farklı yanı çevresel etmenlere bağlı olarak reaktif bir yapıya sahip olmasıdır. Epigenetikteki temel esneklik, çevresel müdahale ile değişebilen gen ifadelerinin çevre koşullarının yeniden düzenlenerek istenmeyen koşulların oluşmasının önüne geçmesine imkân tanınmasıdır. Sosyoekonomik arka plan sadece sigara ve beslenme alışkanlıklarıyla sınırlı kalmamakta aynı zamanda davranış kalıplarının daha negatif veya pozitif ortamları da epigenom üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. O halde kişinin çevresel stres faktörlere daha duyarlı olduğu belirli zamanlar örneğin erkek çocuklarında ergenlik döneminde gamet üretimi, hamile kadınların erken embriyogenez evreleri, bebeklerin ve çocukların gelişim dönemlerindeki çeşitli ebeveyn davranışları çocuğun sonraki yaşamında hastalık riskini etkileyebileceği için önem arz etmektedir. Bu nedenle mevcut çevresel koşulların düzenlenmesi, bireylerin yaşamlarının ileriki döneminde birtakım hastalıklara maruz kalmaması ve alternatif tedavi yöntemleri geliştirilebilmesi için epigenetiğin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Genlerin fenotipi doğrudan belirlemediğini ancak çevreyle etkileşim içinde olduğunu bilen birinin sosyal uygulamalarla ilgili örneğin ebeveyn davranışları, anne çocuk etkileşimine verilen önem ve bu etkinin sonraki nesillere aktarılabilirliğinin bilinmesi önce birey sonra da toplumun birer üyesi olarak sosyal rollerimizin neler olduğunu yeniden gözden geçirmemiz gerektiğini göstermektedir. Epigenetik bilgisi, insanlar arasındaki farklılıkların oluşmasında sadece genlerin etkili olmadığını aynı zamanda bireyin yetiştiği çevresel koşulların da büyük bir etkisinin olabileceği, bu nedenle insanlar arasında irksal farklılık arayışına gitmenin önüne geçmesine olanak tanımaktadır. İnsanlar arasındaki farklılıkların doğuştan geldiği düşüncesi (doğuştancılık) genetik determinizm kavramına sıkı sıkıya bağlı inançlar geliştirmeye neden olabilmektedir. 23 ülkeden 8285 öğretmen ile yapılan bir çalışmada katılımcıların genetik determinizm ile ilgili görüşleri ortaya konulmuştur (Castera & Clement, 2014). İnsanların sahip olduğu özelliklerin doğuştan geldiği düşüncesi ülkeler arasında farklılıklar göstermiştir. Afrika ülkelerinde ve Lübnan'da, öğretmenlerin yarısından fazlası doğuştanlığa inanırken Avrupa'da özellikle Fransa'daki öğretmenlerin doğuştanlık görüşleri daha düşüktür. Eğitim seviyesi azaldıkça bireyin doğuştan gelen özelliklerinin daha fazla olduğuna; bazı etnik grupların (örneğin yabancıların) genleri nedeniyle diğer insanlardan daha aşağı olduklarına ve hatta kadınların erkeklere oranla ev işleriyle ilgilenmede daha yatkın davranışlar sergilediklerine dair inançları daha yüksek çıkmıştır. Ortaya çıkan bu sonuç ülkeler arasındaki farklılıkların ekonomik, politik, coğrafi ve tarihsel boyutları özellikle Fransa tarihindeki düşünsel hareketler ile birlikte ilişkilendirilerek açıklanabileceği belirtilmiştir. Bu durum fen eğitiminin demokratik yurttaşlık ve toplumsal uzlaşma için ne kadar gerekli olduğunu da göstermektedir.



Epigenetiğin bir diğer sosyal boyutu devletlerin vatandaşına karşı sorumluluklarının gözden geçirilmesine duyulan ihtiyaçtır. Çeşitli kimyasalların, tarım ilaçlarının veya gıdaların korunmasında kullanılan maddelerin sperm sayısını azaltmada, hamile kadınların fetüs gelişimi üzerinde olumsuz etkilerine neden olmada epigenetik faktörlerin etkili olduğunun tespiti, devletlerin halka karşı sorumluluğunun arttığı anlamına gelmektedir (Landecker 2011). Epigenetikten elde edilen araştırma bulguları halk sağlığı, çevresel ve sosyal politika gibi alanlardaki politikaları etkileyebilmektedir (Müller ve diğ., 2017). Maruz kaldığımız çevresel kirleticilerin epigenetik mekanizmaları aktive ederek gen işleyişinin değişmesi ve bu değişimin nesiller boyunca aktarılması sağlıklı yurttaşlar yetiştirmek için gerekli kriterlerin devlet politikası olarak düzenlenmesi veya yeniden gözden geçirilmesinin gerektiği anlamına gelmektedir. Özellikle biyoloji bilimi gibi hızla gelişen alanlarda yeni gelişmelerin yol açtığı sorulara ulusal boyutta yanıtlar aranmalıdır. Bunun ilk adımı toplumun bilimsel okuryazarlık seviyesini artıracak güncel bilgileri içine alan bir müfredat geliştirmektir.

### ***Epigenetik Müfredatta Nasıl Yer Almalı?***

Epigenetik konusunun farklı ülkelerin ders programlarında nasıl yer aldıklarının incelenmesi, müfredat içeriğini oluşturmada yol gösterici olabilir. Epigenetik konusu embriyonik gelişim süreçleri, çevresel kirleticiler, zehirli maddeler gibi ekolojik konular ile ilgili olsa da biyoloji müfredatında en fazla genetik başlığı altında yer almaktadır. Bu yüzden epigenetik kavramının uluslararası çalışmalarda nasıl yer aldığını tespit etmek için bu kavram hem sözcük olarak araştırılmış hem de genetik konusu içerisinde genlerin çevreyle etkileşimi kavramına ne kadar yer verildiği incelenmiştir. Müfredat içeriğine de uygulanabilecek bu alanda uzmanlarınca yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri olmak üzere, genetikle ilgili konularda karar vermek için her seviyeden insanda hangi genetik bilginin gerekli olduğunu belirlemek amacıyla farklı genetik uygulama alanlarında çalışan uzman kişilerden oluşan uluslararası bir grup oluşturulmuş ve bilimle profesyonel olarak ilgilenmeyen bireylerin genetik okuryazarlığı için gerekli etmenler belirlenmiştir (Boerwinkel, Yarden & Waarlo, 2017). Yirmi birinci yüzyıl insanının genetikle ilgili sorunlarla karşı karşıya kalırken bu sorunların ardındaki gerekçeleri yöneten belirli mekanizmalar hakkında bilgi sahibi olmadıkları, öğretmenlerin gen-çevre-özellik etkileşiminin karmaşıklığından kaynaklanan belirsizliği ele almak zorunda kalabileceği vurgulanmıştır. Bu çerçevede geleneksel genetik eğitiminden çok daha fazla ilgi gören unsurlar genler, çevre ve özellikler arasındaki karmaşık ilişkiler olarak ifade edilmiştir.

Müfredatta geçtiği üzere epigenetik kavramı örneğin Singapur'da sözcük olarak bulunmamakta ancak ortaokul, lise ve üniversite seviyelerinde gelişim biyolojisi ders içeriği olarak yer almaktadır (Lim, 2003). Birleşik Krallık müfredatında epigenetik kavramı genetik konusu içerisinde dolaylı olarak bulunmaktadır. Genomun çevre ile etkileşimi, organizmanın fenotipik özelliklerin oluşumunda etkili faktörler, fenotip oluşumunda çoklu genlerin etkili olduğu, Mendel genetiği ile açıklanamayan kavramlar, canlılar arasındaki varyasyon çeşitlerinin sürekli veya süreksiz olması şeklinde yer almaktadır (Department of Education, 2015). Bu müfredatta fenotipin oluşumundaki etkenler konusu ülkemizden farklı olarak daha ayrıntılı ele alınmıştır.

Okullara epigenetiği getirmek için sınırlı sayıda olsa da somut girişimler olmuştur. Bunlardan ABD'de (Bass, Drits-Esser & Stark, 2016; Colón-Berlinger 2010; Drits-Esser, Malone, Barber & Stark, 2014; Stark, 2010) olanların Avrupa ülkelerine (Avelo ve Uitto 2015; Jamieson & Radick 2017) kıyasla daha fazla olduğu söylenebilir. Avrupa'da bu kavramın nasıl yer aldığı ders kitapları içeriklerinin incelenmesi şeklinde yoğunluk kazanmıştır. Örneğin İspanyol ders kitaplarının incelendiği bir çalışmada sadece 12. sınıf seviyesinde ve dokuz kitaptan yalnızca bir tanesinde epigenetik terimi geçmekte, diğer kitapların bazılarında ise epigenetik mekanizmalardan olan metilasyondan ve RNA moleküllerinden söz edilmektedir (Zudaire & Fraile, 2020). Ders kitaplarında genetik ünitelerinin incelendiği çalışmalarda çevrenin etkisinin göz ardı edildiği, epigenetiğe tamamen zıt olan genetik determinizm kavramının

araştırıldığı çalışmalar ön plandadır. Bu eğilimlerin ders kitaplarında hangi sözcükler ve görseller ile temsil edildiğini gösteren bir çalışma Avrupa'nın 16 ülkesinin biyoloji genetik müfredatı hakkında ipuçları sunmaktadır (Clément & Castéra, 2013). Genetiği tanımlamada bazı ülkelerde "genetik program, genetik bilgi, yaşam kitabı" metaforlarının kullanıldığı tespit edilmiştir. Örneğin Almanya bu temsillerin hiçbirini kullanmazken İtalya "yaşam kitabı" kavramını kullanmıştır. Fransa'da genetik program sözcüğü eski ders içeriğinde yoğun olarak kullanılmış olup son dönem kitaplarında ise daha çok genetik bilgi kavramı yer almaktadır. Ayrıca hastalıkların oluşumunda çevresel etkiden Fransızca ders kitaplarında nadiren bahsedilmektedir. Genetiği tanımlarken "genetik bilgi" kavramını kullanmak "genetik program"a göre daha az ideolojiktir, daha az deterministiktir ve sistemik bir perspektiften çevresel ve epigenetik süreçlerle etkileşimlere daha açıktır. Okul ders kitaplarında genetikle ilgili farklı metaforların ortaya çıkmasında sosyokültürel parametreler, değerler ve sosyal uygulamaların etkili olduğu düşünülmektedir. İncelenen ders kitaplarının hiçbirinde epigenetik sözcüğü bulunmamaktadır. Bu çalışmada geçen tek yumurta ikizleri olası epigenetik farklılıkların açıklaması için iyi bir örnektir. Ancak ders kitaplarındaki tek yumurta ikizlerinin tüm resimlerinde, ikizlerin tamamen aynı kıyafetler, saçlar ve vücut yapıları ile resmedildiği belirtilmiştir. Benzer bir diğer çalışma Finlandiya'da yapılmıştır. Fin biyoloji ders kitaplarında genlerin tanımları incelenmiştir (Avelo & Uitto, 2015). Güçlü genetik determinizme işaret eden ifadelerin olduğu görülmüştür. Örneğin genler, baskılanan özelliklerle ilişkili olarak çevreden daha önemli bir faktör olarak tasvir edilmiştir. Modern gen modelleri ve bununla ilgili pasajların eksikliği görülmüştür. Genetik eğitiminde çevresel etkilerin daha fazla hesaba katılması ve genotip fenotip bağlantısının zamansal ve gelişimsel yönüne daha çok vurgu yapılmasının gerektiği vurgulanmıştır.

Ortaokul ve lisede yaygın olarak öğretilen Mendel genetiği, tüm fenotipik özelliklerin genotipte yer alan baskınlık veya çekiniklik kavramı ile ortaya çıktığı üzerinedir. Aynı genotipe sahip bitkilerin farklı gübre konsantrasyonunda veya değişen miktarlarda güneş ışığı ve su kullanılması durumunda popülasyon dağılımının nasıl olacağı tasarlandığında birçok fenotipik farklılığın ortaya çıkacağı düşünülebilir. Popülasyondaki farklı boy uzunluğundaki bireylerin sadece genlerin etkisi ile ortaya çıkmadığı, beslenme gibi çevresel nedenler ile olduğu bilinir ama bu sezgisel bir bilgidir (Dougherty, 2009). Günümüzde epigenetik ve genetikle ilgili bilgiler birlikte bir bütün oluşturarak durumu sezgisel olmaktan öte bilimsel bir temele dayandırmaktadır. 1900'lü yılların Mendel genetiği ile fiziksel görünüşteki çeşitliliği açıklamak artık yetersiz kalmaktadır. Ayrıca Mendel genetiği monogenik yani tek bir gen ile ortaya çıkan özellikler hakkında bilgi vermektedir. Genotip ile fenotip arasındaki bu bağlantı, tıpta yaygın olan karmaşık hastalıkları açıklamada çok naif ve yetersiz kalan bir bilgidir. Tek gen (monogenik) kalıtımına çok fazla zaman ayırmak öğrencilerde çoğu özelliğin tek gen ile kalıtıldığına dair yanlış bir izlenimin oluşmasına neden olabilir (Dougherty, Pleasants, Solow, Wong & Zhang, 2011). Bunun yerine genetikle ilgili eğitime boy, ten rengi, kan lipit seviyeleri, diyabet ve otizm gibi ortak, karmaşık özelliklerle başlanıp sonrasında fenotipik özelliklerin dikotomik (ikiye bölünmüş) tek gen özellikleri ile bir eğitim programlanabilir. Müfredattaki tarihsel sıra Mendel genetiği ile başlamakta ancak sonrasında çoklu genlerin etkisi ile ortaya çıkan özelliklerden söz edilmemektedir. Günümüzde birçok sağlık sorunu ile karşı karşıya kalan toplumun hastalıklarının ardındaki nedenleri anlamasında biyoloji bilgisine ihtiyaç vardır ve toplumsal seviyede bilimsel okuryazar bireylerin yetişmesi için gündelik hayatın içindeki hastalıklar hakkında temel düzeyde bilgiye gereksinim vardır. Karmaşık özelliklerin genetiğini anlamak, yeni nesil genetikçilerin ve sağlık hizmeti tüketicilerinin hazırlanması için kritik bir önem taşımaktadır (Dougherty, 2010).

Modern evrim teorisinde seçim, gen düzeyinde, son derece yavaş bir süreç sonucunda ve seçilen bireylerin statik olduğu varsayılarak gerçekleşmektedir. Hücre ve organizma seviyesindeki canlı soylarında DNA dışı varyasyonların kalıtılabildiği bilgisi modern evrim teorisinde yaygın kabul gören gen merkezli ve uzun süren bir zaman cetveli anlayışının değişmesi gerektiğini göstermektedir (Jablonka & Lamb, 2002). Bilinen evrim teorisindeki mekanizma nesiller boyunca ve çok yavaş bir süreç olarak işlemekteyken, epigenetik mekanizmalar organizmanın çevresel değişime çok hızlı yanıt vermesine izin veren bir tür ince ayar mekanizması olarak çalışmaktadır (Bloomfield & Hanson, 2015). Kalıtım

kavramının genişlemesi ile çevrenin evrimsel süreçteki rolü sadece seçilimi sağlayan faktör olarak değil, mutasyon harici varyasyon nedenlerini de ortaya koyan bir etmen olarak anlatılmalıdır. Canlı ve çevre arasındaki etkileşimde çevre, epigenetik mekanizmaları oluşturan ve böylece varyasyon kaynaklarını oluşturmada önemli bir etken olarak müfredatta yer almalıdır. Türleşmede etkisi olan çevresel koşulların rolü, nesiller arası farklılıkların gözlenmesinin çok yavaş olduğu ve çok uzun süren bir zaman sonucunda oluştuğu bilgisi yerine bu koşulların epigenetik mekanizmalar ile çok daha kısa bir zamanda hatta birkaç kuşak sonrasında gözlenebilen değişiklikler olarak ortaya çıktığı belirtilmelidir. Bu sayede nesiller arası farklılıkların sahip oldukları özelliklerinin adaptif olmada etkisi çok daha somut örneklerle anlatılabilir. Bu konuda çağımızın yaygın hastalıklarından biri olarak kabul edilen Tip 2 diyabet hastalığı çok iyi bir başlangıç noktası olabilir.

Tip 2 diyabet, 21. yüzyılın bulaşıcı olmayan ve dünyada ölüm oranı en yüksek dört hastalığı arasında yer almaktadır (WHO, 2013). Bu konu ortaöğretim dersi müfredatında ve halk sağlığı ile ilgili kuruluşların bilinçlendirme programlarında geniş yer bulmaktadır. Obezite ile mücadelede şeker hastalığının önüne geçilmesi amacıyla bu konuya ders kitaplarında yer verilmekte, sağlıklı bireylerin yetişmesi için doğru beslenme alışkanlıkları ve hareketli bir yaşantının önemi üzerinde durulmaktadır. Sağlıklı beslenme yalnızca bireyin kendisini değil, sonraki nesillerin sağlığını da etkilemektedir. Ancak bireylerin uyguladıkları beslenme biçimlerinin kendilerinden sonraki kuşaklarda da -epigenetik mekanizmalar aracılığıyla- etkili olabileceği müfredatta yer almamaktadır. Oysaki Tip 2 diyabet hastalığının gerekçeleri alan yazında artık genetik ve epigenetik sistemler ile açıklanmaktadır. Bu bağlamda müfredatta yapılacak epigenetik ile ilgili düzenleme beslenme ile genlerin etkileşimini ve bunun sonraki kuşaklarda da etkisinin devam edebileceği bilgisini içermelidir.

Tohum veya gen bankaları bitki ve hayvan nesillerini ve tür çeşitliliğini korumak amacını taşır. Ancak canlının yaşadığı çevresel koşulların dikkate alınmadığı, sadece gen düzeyindeki çalışmalar organizmaların çeşitliliğini korumada yeterli olmayacaktır. Biyoçeşitliliği sağlayan koşullar dendiğinde o canlının içinde bulunduğu doğal çevre ve bu çevresel koşulların korunması akla gelmektedir. Ekosistemlerin yok olması türlerin çeşitliliğini yok edecektir. Ancak bunun ardındaki bir diğer gerekçe canlı çeşitliliğinde etkili olan epigenetik mekanizmaların çevresel koşullar ile ortaya çıktığı bilgisidir. Organizmanın içinde bulunduğu ekolojik koşullar canlıdaki varyasyonun epigenetik yansımalarıdır bu nedenle o canlıyı yaşatabilmek için gerekli olan koşulların, yaşadığı doğal çevrenin de korunması gereklidir (Jablonka, & Lamb, 2002). Biyolojik çeşitliliği sağlayan şeyin organizmanın sahip olduğu gen ve onun yaşadığı ekolojik koşullar olduğu bilgisi çevre eğitimi programında yer almalıdır. Endemik bitki ve hayvanların var olabilmeleri için genetik koruma programlarının yeterli olmadığı, organizmayı içinde bulunduğu çevresel koşulları ile birlikte ancak neslinin devamlılığının sağlanabileceği müfredatta vurgulanmalıdır.

Disiplinler arası etkileşimin yoğun olduğu bir çağda biyoloji biliminin ortaya koyduğu bulguların insan yaşamındaki sosyal ve kültürel etkilerinin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Sosyo-bilimsel konular olarak sınıf ortamına taşınan gen düzeyindeki çalışmalar, bu çalışmaların sosyal boyutu ve toplumsal değerleri oluşturmadaki yeri katılımcı bireyler yetiştirmek için gereklidir. Bu nedenle biyolojik buluşların sosyal ve kültürel etkilerini araştıran biyososyal bir anlayış modelinin geliştirilmesine (Bloomfield & Hanson, 2015) ve bu anlayışın öğretim programına dâhil edilmesine ihtiyaç vardır. Bilimsel okuryazar bireyler yetiştirmek toplumun yurttaşlık seviyesini artırmada etkilidir. Bu amaçla değişen bilimsel bilgilerin sınıf ortamında yer alması onun sosyal, toplumsal ve etik boyutları ile birlikte olmalıdır.

### ***Epigenetiğin Öğretilmesi Ne Sağlayacaktır?***

Epigenetiğin öğretilmesi, genetik konusunda karşılaşılan varyasyonların nedenlerini anlamada kolaylık sağlayabilir. Mendel'in farklı boylardaki bezelye örneği, onun önerdiğine ilave gen temelli

olmayan varyeteler sunmaktadır.<sup>1</sup> Aynı durum insanların belirli fenotipik özelliklerinde de mevcuttur. Popülasyon içindeki farklılıkların gerekçelerini anlamada genlerin yanında epigenetik etmenlerin de olduğunu bilmek tür içindeki çeşitliliği açıklayan tek kavramın genler olmadığı anlayışını getirebilir. Böylece genlerin merkezde olduğu bir düşünceden uzaklaşmak, genetik determinizm denilen biyolojik kadercilik görüşünün temellenmesini, toplumsal bir sorun olarak karşılaşılabileceğimiz insanların genetik yapılarından ötürü ayrıştırılması veya aşağılanması engelleyebilir.

İnsanların doğuştan getirdiği tüm özelliklerin değişmez olduğu düşüncesini bir kenara bırakmak ve yaşam koşullarının kalitesini arttıracak sağlıklı beslenme alışkanlığının önemli olduğu dikkate şayan bir konu olabilecektir. Kansere yatkın bir geçmişe sahip olmak kaygı verici olabilir; epigenetik mekanizmaların bilinmesi ile çevresel değişiklikler sayesinde hastalığın oluşmadan evvel önlenebileceği bilgisi, insanın yaşam standartlarını yukarı çıkarabilir.<sup>2</sup> Bununla birlikte insanların beslenme, egzersiz alışkanlıkları, kimyasal maddelere maruz kalmaları sadece kendi sağlıklarını değil kendilerinden sonraki birkaç nesilde etkisi görülebilen izler bırakabileceği görülecektir. Bu durum insanın yaşam biçimine göstermesi gereken önemin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne serer.

Evrim kuramının anlaşılmasında karşılaşılan zorluklardan biri olan, uzun süren bir zaman cetveli anlayışının değişmesinde epigenetik mekanizmaların bilinmesi kolaylık sağlayabilecektir. Popülasyon içindeki farklılıkların çok uzun bir süreç neticesinde ortaya çıktığı görüşü evrim kuramındaki türleşme kavramının algılanmasını zorlaştırmaktadır. Hâlbuki epigenetik mekanizmalar sayesinde birkaç nesil sonrasında görülen varyasyonların olduğu ve bu farklılıkların mutasyonlardan çok daha sıklıkla adaptif etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle evrim kuramında önemli bir yeri olan mutasyonların rolüne ilave olarak epigenetik mekanizmaların eklenmesi kuramın anlaşılmasına yardımcı olabilecektir.<sup>3</sup>

Biyolojik çeşitliliği korumada tohum veya gen bankaları iyi bir alternatif olarak görülse de yeterli değildir. Canlıyı oluşturan özelliklerin gen ve epigenetik mekanizmaların birlikte etkileşimi sonucu ortaya çıktığı bilgisinin sunulması, canlıların buldukları habitatlarının korunmasının gerekli olduğu bilgisini ön plana çıkartabilir.<sup>4</sup> Tıpkı kraliçe arı ile işçi arı arasındaki beslenme biçimindeki farklılığın epigenetik olması gibi, endemik bitki veya hayvan türlerinin varlığının korunmasının ancak buldukları doğal çevrenin korunması ile mümkün olacağı vurgulanmalıdır. Aksi takdirde nesli tehlike altında olan türlerin korunması için genetik klonlama yöntemlerini tek çözüm yolu olarak gören ve doğal çevrenin korunmasını çok da önemsemeyen görüşler yaygınlık kazanabilir.

## TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

İlk ve orta fen eğitiminin hedefleri arasında yer alan bilimsel okuryazar bireyler yetiştirmek bilimsel çalışmaların büyük bir hızla arttığı çağımızda önemli bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyacı gidermeyi öncelikli hedefleri arasında bulduran devletler öğretim programındaki düzenlemelere önem vermektedirler. Bilimsel okur yazarlık mesleki olarak bilim insanı yetiştirmeyi değil, her seviyeden insanın bilimsel konularda özellikle de sosyo-bilimsel konular hakkında bilgi sahibi olmasını amaçlamaktadır. Bu bağlamda ülkemizde de son yirmi yıldır uygulanmakta olan öğretim programı vizyonunda bilimsel okur yazarlık kavramı vurgulanmaktadır. Ancak bilim dünyasındaki buluşların sayısındaki hızlı artış mevcut öğretim programlarının gözden geçirilmesini ve düzenlemelerin buna uyumlu bir şekilde yürütülmesini gerektirir.

<sup>1</sup> Örneğin bir tarladaki bitkilerin farklı su, ışık ve gübre miktarına bağlı olarak ürünlerin yaprak sayısı, uzunlukları, çiçeklenmesi gibi birçok özelliği farklı olabilmektedir.

<sup>2</sup> Tek yumurta ikizlerinin birinin kanser hastası iken diğerinin hiç kansere yakalanmayışı da aynı genetik yapıya sahip canlıların farklı çevre koşullarına karşı geliştirdiği duruma örnek olarak verilebilir.

<sup>3</sup> Meyve sineği ile yapılan yönlendirilmiş evrim deneylerinde değişen çevre koşullarına bağlı olarak özdeş canlılarda farklı kanat ve vücut yapılarına sahip nesiller oluşturulabilmektedir.

<sup>4</sup> Ülkemizde yetiştirilen ürünlerin veriminin yüksek olması sadece genetik içeriğiyle ilişkili değildir. Örneğin çay bitkisinin en iyi Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetişmesi, Malatya'da kayısının, Beypazarı'nda havucun kaliteli olması habitatın önemini gösteren örnekler olarak verilebilir.

Özellikle insan sağlığını ilgilendiren genetik ve tıp alanındaki yenilikler düşünülürse öğretim programının yeniden yapılandırılması önem arz eder.

Bu sebeplerden ötürü bu çalışmada epigenetiğin yer aldığı genetik konusunun öğretiminin farklı ülkelerde müfredat içerisinde nasıl yer aldığı belirlenmiş, müfredat içeriğine uygulanabilecek genetik alanında uzmanların görüşleri incelenmiştir. Bunlara ilave olarak öğretmenlerin görüşleri müfredatın uygulanması konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Finlandiya’da öğretmenlerin genetik içeriklerinden hangilerini önemli gördüklerini ve bunları nasıl vurguladıklarını inceleyen araştırmada epigenetik, fenotip gelişimiyle ve insanın karmaşık özellikleriyle ilgili sorularla karşılaşan öğretmenlerin bu konuları nasıl algıladıkları tespit edilmiştir (Avelo & Uitto, 2019). Öğrencilerden gelen bu konuyla ilgili sorularda öğretmenlerin mesleki deneyimi olsa da kaçınma eğiliminde oldukları görülmüştür. Bu nedenle konuyla ilgili müfredat değişikliği yapmak yeterli değildir. Öğretmen yetiştirmede genetik ve çevre etkileşiminde hem alan eğitiminde hem de pedagojik olarak nasıl bir yol izlenmesi ayrıca ele alınmalıdır.

Genetiğin çevreyle ilişkisi konusunun öğrencilerin seviyesine uygunluğu ayrı bir tartışma konusu olabilir. Bununla ilgili yapılmış bir çalışmada farklı okullarda öğrenim gören lise öğrencileri ile epigenetik üzerine kısa bir ders işlenmesinin ardından gerçek vakaya dayanan örneklerle ilgili açık uçlu sorular ile çevresel faktörlerin genlerin ifadesi üzerine etkisinden söz edilmiştir (Zudaire & Fraile, 2020). Öğrencilerde epigenetiğin anlaşılmasıyla ilgili bir farkındalık oluştuğu ve genetik determinizm sürecinin yanlış anlaşıldığı belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları epigenetiğin orta öğretim müfredatına uygulanmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Mendel genetiğine alternatif olarak kullanılan Weldon genetiğinin kullanıldığı öğretim programına yer verilen çalışmanın sonuçları da bu durumu desteklemektedir (Jamieson & Radick, 2017). Lisans seviyesindeki bir grup öğrenciye genetiğe giriş dersi öncesinde genlerde çevresel bileşenlerin etkili olduğunu vurgulayan Mendelizim eleştirmeni Weldon’un görüşlerinden söz edilmiştir. Gelişimsel bağlamda ve fenotipik değişkenliği sağlamada çevresel etmenlerin rolünün anlatıldığı çalışmaya katılan öğrencilerde bu eğitimi almayanlara göre genetik determinizm konusunda değişim olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar doğrultusunda etkili bir müfredat içeriği ve öğretmen yetiştirme programı sayesinde konuyla ilgili eksikliklerin giderilebileceği söylenebilir.

DNA diziliminin değişmeden, çevresel faktörlerin etkisiyle bireyin dış görünümünde meydana gelen değişimlere neden olan etmenler epigenetik olarak adlandırılır. Epigenetik, son yıllarda hem biyolojik hem de tıbbi araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Çevresel koşulların etkisini bilimsel olarak tespit edebilir miyiz sorusuna epigenetik mekanizmalar cevap vermektedir. Epigenetik işaretler içerisinde kimyasal etmenler gibi fizyolojik, anne bakımı gibi psikolojik öğeler de yer almaktadır. Bu bağlamda insanlarda son dönemlerde sıklıkla görülen kanser, obezite, tip 2 diyabet, kardiyovasküler rahatsızlıklar, otizm ve hatta şizofreni gibi hastalıkların gerekçelerinin tespiti veya engellenmesi ayrıca bu hastalığa yakalanan bireylerin kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları ile tedavi edilmesi mümkün olabilecektir. Epigenetik mekanizmaların toplum tarafından bilinmesi halk sağlığı açısından alınması gereken tedbirlerin daha açık ve anlaşılır bir zemine oturmasını sağlamaktadır. Bireyin doğru olmayan beslenme ve yaşam alışkanlıkları yalnızca bireyi bağlamazken sonraki nesillerin de olumsuz etkilendiği bilimsel bir veri olarak gözler önüne serilmektedir. Bu nedenle refah seviyesi yüksek sağlıklı bireyler oluşturmak amacıyla ülkelerin eğitim politikalarında yer alması gereken bu konunun dâhil edildiği güncel bir öğretim programına ihtiyaç vardır.

Mevcut biyoloji öğretim programındaki genetik konusu 20. yüzyılın son çeyreğinde ortaya çıkan bilgileri sunmaktadır. İçinde bulunduğumuz yüzyılın genetik alanındaki buluşları insana dair sorunlara özellikle de toplum sağlığında doğrudan etkisi hissedilen konulara daha çok yer vermektedir. Epigenetik konusu da bunlardan biridir. Gelecekte epigenetiğin insan sağlığının her aşamasında genden daha önemli bir belirteç olarak görev alacağı düşünülmektedir. Bu nedenle genetik merkezli öğretim programına ilave olarak çevrenin insan doğasındaki etken rolünü daha somut verilerle ortaya koyan bir program sunmak gerekebilir. Yapılacak olan bu güncelleme üniversitelerin tıp ve sağlıkla ilgili bölümlerinde okuyacak öğrenciler için alt yapı oluşturmasını sağlarken aynı zamanda konuya dair merak uyandırmasını teşvik

edebilir. Psikoloji bölümlerinde suçta, şiddete, cinsel yönelimlere olan davranış farklılıkları veya cinsiyet rollerinin ayrımları gibi insan davranışlarıyla ilgili konularda epigenetik işleyiş mekanizmalarının yer aldığı ders içerikleri hazırlanabilir. Genetik ders programı içeriğindeki değişimler bireylerin sağlıklı ve güvenilir gıdaya erişmesinde devletten talep ettikleri haklarını değiştirebilir. Beslenme programında yer alan hayvansal gıdalardaki epigenetik mekanizmalarla ilgili çalışmalar veterinerlik fakültelerinde, bitkilerden temin edilen yararlı bileşenlerin hastalıkların tedavisi veya önlenmesindeki araştırmaları moleküler biyoloji ve tıp fakültelerinde ve bunlara ilave olarak koruyucu gıdalar ve ilaçlar ile maruz kaldığımız kimyasal bileşenlerin halk sağlığındaki etkisi ile ilgili çalışmalar günümüzde çokça yapılan araştırma konuları içerisinde yerini almaktadır. İnsanların bu konudaki bilgi düzeylerini nicel ve nitel araştırmalar ile tespit edecek çalışmaların yapılması faydalı olabilir. Toplumun farkındalık seviyesinin tespiti ile öğretim programlarındaki reform çalışmalarının gerekliliği tespit edilebilir. Sonuç olarak bilim ve eğitimin bilimsel yöntemi günlük yaşama katabilen, insan hayatını doğrudan ilgilendiren konularda cevaplar üretebilen öğretim programları geliştirmek kaliteli ve geleceği öngörebilen eğitim politikaları sayesinde mümkün olacağını söyleyebiliriz.

### KAYNAKÇA

- Aivelo, T. J. E., & Uitto, A. E. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *NordDina: Nordisk tidsskrift i naturfagdidaktikk*.
- Aivelo, T. & Uitto, A. (2019). Öğretmenlerin genetik öğretimine yaklaşımları, içerik seçimlerini ve hassas konulardan kaçınma durumlarını yansıtır. *bioRxiv*, 350710.
- Bae, J. B. (2013). Perspectives of international human epigenome consortium. *Genomics & informatics*, 11(1), 7.
- Bağcı-Kılıç, G., Haymana, F. ve Bozyılmaz, B. (2008). İlköğretim fen ve teknoloji dersi öğretim programı'nın bilim okuryazarlığı ve bilimsel süreç becerileri açısından analizi. *Eğitim ve Bilim*, 33 (150), 52-63.
- Barker, DJ. (1990). The fetal and infant origins of adult disease. *BMJ* 301: 1111.
- Bass, K. M., Drits-Esser, D., & Stark, L. A. (2016). A primer for developing measures of science content knowledge for small-scale research and instructional use. *Cell Biology Education*, 15(2), 1–14.
- Bloomfield, M. & Hanson, C. (2015). 'Beyond the gene: epigenetic science in twenty-first century culture', *Textual Practice*, 29:3, 405-413.
- Bock, C. and Lengauer, T. (2008) Computational epigenetics. *Bioinformatics* 24: 1–10.
- Boerwinkel, D. J., Yarden, A., & Waarlo, A. J. (2017). Reaching a consensus on the definition of genetic literacy that is required from a twenty-first-century citizen. *Science & Education*, 26(10), 1087-1114.
- Borghol N, Suderman M, McArdle W, et al. (2012) Associations with early-life socio-economic position in adult DNA methylation. *International Journal of Epidemiology* 41: 62–74. DOI: 10.1093/ije/dyr147.
- Cast´era, J. & Cl´ement, P., (2014). Teachers' conceptions about the genetic determinism of human behaviour: a survey in 23 countries. *Sci. Educ.* 23, 417–443. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9494-0>.
- Cl´ement, P., & Cast´era, J. (2013). Multiple representations of human genetics in biology textbooks. In *Multiple representations in biological education* (pp. 147-163). Springer, Dordrecht.
- Colón-Berlinger, M. (2010). Using an active-learning approach to teach epigenetics. *The American Biology Teacher*, 72(4), 221–222.
- Corcoran, C., Perrin, M., Harlap, S., Deutsch, L., Fennig, S., Manor, O., Nahon, D., Kimhy, D., Malaspina, D. and Susser, E. (2009). Incidence of schizophrenia among second-generation immigrants in the Jerusalem perinatal cohort. *Schizophrenia bulletin*, 35(3), 596-602.

- Çepni, S., Bacanak, A., & Küçük, M. (2003). Fen eğitiminin amaçlarında değişen değerler: Fenteknoloji-toplum (Changing values in the goals of science education: Science-technologysociety). *Journal of Values Education*, 1(4), 7–29.
- Dalgaard K, Landgraf K, Heyne S, Lempradl A, Longinotto J, et al. (2016). Trim 28 haploinsufficiency triggers bi-stable epigenetic obesity. *Cell* 164(3):353–64.
- Denham, J., O'Brien, B. J., Harvey, J. T., & Charchar, F. J. (2015). Genome-wide sperm DNA methylation changes after 3 months of exercise training in humans. *Epigenomics*, 7(5), 717-731.
- Department of Education, (2015). <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study>
- Dougherty, M. J. (2009). Closing the gap: inverting the genetics curriculum to ensure an informed public. *The American Journal of Human Genetics*, 85(1), 6-12.
- Dougherty, M. J. (2010). It's time to overhaul our outdated genetics curriculum. *The American Biology Teacher*, 72(4), 218-218.
- Dougherty, M. J., Pleasants, C., Solow, L., Wong, A., & Zhang, H. (2011). A comprehensive analysis of high school genetics standards: are states keeping pace with modern genetics?. *CBE—Life Sciences Education*, 10(3), 318-327.
- Drits-Esser, D., Malone, M., Barber, N. C., & Stark, L. A. (2014). Beyond the central dogma: bringing epigenetics into the classroom. *The american biology Teacher*, 76(6), 365-369.
- Erdoğan, M. N., & Köseoğlu, F. (2012). Ortaöğretim fizik, kimya ve biyoloji dersi öğretim programlarının bilimsel okuryazarlık temaları yönünden analizi. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 12(4), 2889-2904.
- Eş, H. ve Sarıkaya, M. (2010). A Comparison of Science Curriculum in Ireland and Turkey. *Elementary Education Online*, 9(3),1092-1105.
- Gezer, K., Köse, S., Durkan, N. & Uşak, M. (2003). Biyoloji Alanında Yapılan Program Geliştirme Çalışmalarının Karşılaştırılması: Türkiye, İngiltere ve ABD Örneği, Pamukkale Eğitim Fakültesi Dergisi, 2 (14), 49-62.
- Hillman, S. C., & Dale, J. (2018). Epigenetics. *InnovAiT*, 11(12), 689-692.
- Jablonka, E., & Lamb, M. J. (1998). Epigenetic inheritance in evolution. *Journal of evolutionary biology*, 11(2), 159-183.
- Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2002). The changing concept of epigenetics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 981(1), 82-96.
- Jamieson, A., & Radick, G. (2017). Genetic determinism in the genetics curriculum. *Science & Education*, 26(10), 1261-1290.
- Joehanes R, Just AC, Marioni RE, Pilling LC, Reynolds LM, Mandaviya PR, Guan W, Xu T, Elks CE, Aslibekyan S, Moreno-Macias H, Smith JA, Brody JA, et al. (2016). Epigenetic Signatures of Cigarette Smoking. *Circ Cardiovasc Genet*. 9:436–47.
- Kang J, Daines JR, Warren AN, Cowan ML (2019) Epigenetics for the 21st-century biology student. *J Microbiol Biol Educ* 20:20.3.56. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i3.1687>
- Keller, E. F. (2004). Genin yüzyılı, Metis Bilim. İstanbul.
- Koca, S., & ŞİMŞEK, S. (2001). Ortaöğretim için alternatif bir fizik programı. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 37-45.
- Kuehner, J. N., Bruggeman, E. C., Wen, Z., & Yao, B. (2019). Epigenetic regulations in neuropsychiatric disorders. *Frontiers in genetics*, 10, 268.
- Kuzawa, C. W., & Thayer, Z. M. (2011). Timescales of human adaptation: the role of epigenetic processes. *Epigenomics*, 3(2), 221-234.
- Landecker, H. (2011). "Food as Exposure: Nutritional Epigenetics and the New Metabolism." *BioSocieties* 6 (2): 167 – 194.

- Lim, T. M. (2003). Learning developmental biology has priority in the life sciences curriculum in Singapore. *International Journal of Developmental Biology*, 47(2-3), 117-121.
- Marczylo, E. L., Amoako, A. A., Konje, J. C., Gant, T. W., & Marczylo, T. H. (2012). Smoking induces differential miRNA expression in human spermatozoa: a potential transgenerational epigenetic concern?. *Epigenetics*, 7(5), 432-439.
- MEB, (2017). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve Ortaokul 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar) Ankara.
- MEB, (2018). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Ortaöğretim Biyoloji Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı. Ankara.
- Moir, A., Jessel, D. (1992). Beynimizdeki Cinsellik, (çev. Esin Eden), Cep Kitapları: 101/Cinsellik: 04, 1. Basım, İstanbul: Cep Kitapları A.Ş
- Müller, R., Hanson, C., Hanson, M., Penkler, M., Samaras, G., Chiapperino, L., ... & Villa, P. I. (2017). The biosocial genome? Interdisciplinary perspectives on environmental epigenetics, health and society. *EMBO reports*, 18(10), 1677-1682.
- Newman, S. A. (2013). The demise of the gene. *Capitalism Nature Socialism*, 24(1), 62-72.
- Pickersgill, M., Niewöhner, J., Müller, R., Martin, P. and Cunningham-Burley, S. (2013) Mapping the new molecular landscape: Social dimensions of epigenetics. *New Genetics and Society* 32 (4): 429–447.
- Roseboom, T., S. de Rooij, and R. Painter. (2006). “The Dutch Famine and its Long-Term Consequences for Adult Health.” *Early Human Development* 82 (8): 485 – 491.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sharma, S., Kelly, T. K., & Jones, P. A. (2010). Epigenetics in cancer. *Carcinogenesis*, 31(1), 27-36.
- Silberner, Joanne. 2014. “The Khmer Rouge May be Partly to Blame for Diabetes in Cambodia.” *Public Radio International*, January 29. Retrieved on May 7, 2015 (<http://www.pri.org/stories/2014-01-29/khmer-rouge-may-be-partlyblame-diabetes-cambodia>).
- Stark, L. A. (2010). Epigenetics online: multimedia teaching resources. *Cell Biology Education*, 9(1), 6–9.
- Süt, Ö. Ü. B. B. (2019). Hepatoselüler karsinomda histon varyantlarının meta-analizi. *Tıp ve Sağlık Bilimleri*, 27.
- Tekin, N., Aslan, O., Yağız, D. (2016). Fen bilimleri öğretmen adaylarının bilimsel okuryazarlık düzeyleri ve eleştirel düşünme. *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5 (1), 23-50.
- Turgut, H. & Fer, S. (2006). Fen bilgisi öğretmen adaylarının bilimsel okuryazarlık yeterliklerinin geliştirilmesinde sosyal yapılandırmacı öğretim tasarımı uygulamasının etkisi (The effect of social constructivist instructional design to prospective science teachers’ scientific literacy proficiencies). *Eğitim Bilimleri Dergisi: Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi*, 24: 205-229 (In Turkish).
- Turgut, H. (2007). Herkes için bilimsel okuryazarlık. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 40(2), 232-256.
- Ünal, M. (1991). Madde bağımlılığı ve alkolizmde aile. *Aile ve Toplum Dergisi*. 1: 80- 85.
- Viltart, O., & Vanbesien-Mailliot, C. C. (2007). Impact of prenatal stress on neuroendocrine programming. *TheScientificWorldJOURNAL*, 7.
- WHO, (2013). Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013-2020.
- Zudaire, I., & Fraile, M. N. (2020). Exploring the Conceptual Challenges of Integrating Epigenetics in Secondary-Level Science Teaching. *Research in Science Education*, 1-18.