



A Model Suggestion to Prove That “The Role of Independent Assortment in Genetic Diversity is More Important Than Crossing Over”

Ayla Karataş¹

Canan Laçın Şimşek²

Zübeyde Akan Kumbıçak³

ABSTRACT. The most important event that causes genetic diversity in sexual reproduction organisms is meiosis and impregnation. Due to independent assortment and crossing over which happens in meiosis, the possibility of many different variations of gametes from same parents occurs. However, students try to explain genetic diversity that occurs by meiosis just with crossing over and they don't mention the role of independent assortment and impregnation. This study attempted to emphasize the role and importance of independent assortment in genetic diversity by a model which was made by cartons. The role of crossing over and impregnation was not discussed because the main purpose of this model is to highlight the role of independent assortment. It is hoped that by this model, understanding both the fundamental cause of genetic diversity and the law of Mendel will be easier.

Key words: Genetic diversity, Variation, Meiosis, Independent assortment, Crossing over

¹ Assoc. Prof. Dr. İlhan GÜNBAYI, Akdeniz University, igunbayi@akdeniz.edu.tr

² Assoc. Prof. Dr. İlhan GÜNBAYI, Akdeniz University, igunbayi@akdeniz.edu.tr

³ Assoc. Prof. Dr. İlhan GÜNBAYI, Akdeniz University, igunbayi@akdeniz.edu.tr

“Bağımsız Dağılımın Genetik Çeşitlilikteki Rolü Crossing Overdan Daha Önemlidir” Savını İspatlayan Bir Model Önerisi

Ayla Karataş⁴

Canan Laçın Şimşek⁵

Zübeyde Akan Kumbıçak⁶

ÖZ. Eşeyli üreyen canlılarda çeşitliliğe yol açan en önemli olay mayoz bölünme ve sonrasında meydana gelen döllenmedir. Mayoz bölünme esnasında meydana gelen bağımsız dağılım ve crossing-over sayesinde, aynı ebeveynden çok farklı varyasyonlarla gamet oluşma olasılığı ortaya çıkar. Ancak öğrenciler, mayoz bölünme sonucu oluşan çeşitliliği sadece crossing over ile açıklamaya çalışmakta, bağımsız dağılım ve sonrasında döllenmenin bu olgu üzerindeki etkisine değinmemektedirler. Bu çalışmada, genetik çeşitlilikte bağımsız dağılımın rolü ve öneminin anlaşılması için, kartonlardan oluşturulmuş bir modelle konu anlatılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın temel maksadı bağımsız dağılımın rolünün kavratılması olduğu için, crossing over ve döllenmenin çeşitlilikteki rolü bu modelde ele alınmamıştır. Bu sayede hem genetik çeşitliliğin temel nedeni hem de Mendel Yasası daha kolay anlaşılır olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Genetik çeşitlilik, Varyasyon, Mayoz, Bağımsız dağılım, Crossing over

GİRİŞ

Biyoloji bilim alanının konuları, günlük hayatta karşılaşılan olgu ve olaylarla ilgili olmasına rağmen, öğrenciler tarafından çoğu zaman tam olarak anlaşılmamaktadır. Biyoloji dersi öğrenciler tarafından ezber gerektiren bir ders olarak algılanmakta, bu da beraberinde olayların mekanizmalarının anlaşılmasında gecikmesini getirmektedir.

Biyoloji konuları ile ilgili yapılan çalışmalarda, hormonlar, sinir sistemi, Mendel genetiği, genler, kromozomlar, mitoz ve mayoz bölünme konularının, öğrencilerin anlamakta zorlandıkları konularının başında geldiği tespit edilmiştir (Bahar, Johnstone ve Hansell, 1999; Lewis, Leach, ve Wood-Robinson, 2000; Tekkaya, Özkan ve Sungur, 2001). Mitoz ve mayoz bölünme konuları büyüme, gelişme, üreme ve genetik konularına temel teşkil etmesi bakımından oldukça önemlidir (Krawczyk, 2007; Sinan ve Karadeniz, 2010) ve son yıllarda özellikle üzerinde çalışılan konular arasında yer almaktadır (Wynne, Stewart ve Passmore, 2001). Mitoz ve mayoz bölünme ile ilgili yapılan çalışmalarda, öğrencilerin, mitoz ve mayozun genel fonksiyonlarını anlamadıkları, mitoz ve mayozun birbirlerinden farklı olduğunu anlasalar bile, kromozom sayılarının ya da genetik bilginin farklılığı ile ilgili net bilgilerinin olmadığı, mayozu, üreme ve döllenme ile ilişkilendirdikleri görülmüştür (Lewis, Leach ve Wood-Robinson, 2000). Mitoz ve mayoz bölünmenin, mikroskobik düzeyde gerçekleşmesi nedeniyle öğrencilerin olayları zihinlerinde somut olarak canlandırmada ve kavramları yapılandırmada güçlük çektikleri tespit edilmiştir (Bahar, Johnstone ve Hansell, 1999; Tekkaya, Özkan ve Sungur, 2001). Ayrıca, öğretim programlarında kalıtım, üreme ve mayoz konularının ayrı ayrı anlatılmasının genetiğin soyut doğasını arttırdığı belirtilmiştir (Knippels, Waarlo ve Boersma, 2005; Krawczyk, 2007). Özellikle, mayozun kompleks ve soyut doğası, beraberinde bir çok alt kavram ve konuların öğrenilmesini gerektirmesi bu sürecin anlaşılmasını daha da zorlaştırmaktadır (Smith, 1991; Quinn, Pegg ve Panizzon, 2009). Örneğin, mayoz konusunu anlamak için, gen, DNA, kromozom kavramlarının ve bunların yapı ve fonksiyonlar ile ilişkisinin, mayozdaki olaylarının sırasının, kromozomların yer aldığı evrelerin ve bunların mayoz ürünlerinin oluşmasını nasıl sağladığının iyi anlaşılması gerekmektedir. (Quinn, Pegg ve Panizzon, 2009). Oysa, yapılan çalışmalarda, bu kavramların anlaşılmadığı ve birbirlerine karıştırıldığı tespit edilmiştir. Öğrencilerin, DNA, kromozom, kromatit, homolog kromozom gibi temel kavramları ve aralarındaki ilişkileri yeterince anlayamadıkları, bu duruma bağlı olarak mitoz ve mayoz bölünme süreçlerindeki temel olayları, kromozom davranışlarını da anlamakta güçlük çektikleri ve kavram yanılgılarına sahip oldukları görülmüştür (Atılboz, 2004; Batzli, 1999). Öğrencilerin, parça değişiminin (crossing-over) homolog kromozomların kardeş kromatitleri arasında olduğunu, parça değişiminden sonra homolog kromozomların birbirinden ayrıldığını,

⁴ Yrd. Doç. Dr. Ayla Karataş, Kocaeli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, karatasayla@gmail.com

⁵ Yrd. Doç. Dr. Canan Laçın Şimşek, Sakarya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, csimsek@sakarya.edu.tr

⁶ Yrd. Doç. Dr. Zübeyde Akan Kumbıçak, Nevşehir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Nevşehir

mayoz bölünme öncesi interfazın gerekli olmadığını, mayozun bitki hücrelerinde gerçekleşmediğini (Atılboz, 2004; Emre ve Bahşi, 2006; Maraş ve Akman, 2009), mayoz-I' de kromozom sayısının aynı kaldığını, mayoz-II' de yarıya indiğini (Dikmenli, 2010) düşünceleri kavram yanlışlarından bazılarıdır. Ayrıca, daha önce yapılan çalışmalarda, genetik çeşitliliğin (varyasyon) tek sebebinin crossing over (parça değişimi) olduğunu düşünen (Emre ve Bahşi, 2006), bağımsız dağılımdan bahsetmeyen ve çeşitlilikteki rolünü anlamakta zorlanan öğrencilerin olduğu tespit edilmiştir (Krawczyk, 2007).

Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı, genetik çeşitliliğin tek nedeninin mayoz I' in profaz evresinde gerçekleşen crossing over olmadığı, anafaz-I' de gerçekleşen bağımsız dağılımın (ayrılma) daha büyük ve daha önemli bir etkisinin olduğunu anlatmaktır.

Mayoz bölünmenin kritik bir evresi olan anafaz I öğrenci tarafından sadece fiziksel bir olay olarak algılanmakta, fakat bu esnada gerçekleşen bağımsız dağılımın (ayrılma) bir sonucu olan gamet çeşitliliği anlaşılammaktadır. Öğrenci tarafından çeşitliliğin nedeni olarak sadece crossing over telaffuz edilmektedir. Mayoz bölünmenin metafaz I evresinde anadan ve babadan gelen homolog kromozomlar ekvatoryal düzlemde birbirinden bağımsız olarak rastgele dizilir. Metafaz I evresinde ekvatoryal düzlemde gerçekleşen bu olay, anafaz I evresinde homolog kromozomların birbirinden rastgele ayrılmasına temel oluşturur Dolayısıyla anafaz I evresinde meydana gelen bağımsız dağılım nedeniyle, oluşacak gamette, organizmanın anasal ve babasal kaynaklı kromozomlarının birbirine karışması gerçekleşir ki bu olay genetik çeşitliliğin temelini oluşturur. Oysa öğrencilerin kafasındaki çeşitlilik için temel olay crossing overdir. Bu konunun yeterince anlaşılammaması hem görsel materyalin eksik olmasından hem de kaynak kitapların bu konuda yeterli vurgu yapmamlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, genetik çeşitlilikte bağımsız dağılımın rolünün anlaşılması için tasarlanmış olan bir model anlatılmıştır.

Genetik Çeşitlilikte Bağımsız Dağılımın Rolünün Anlaşılması İçin Tasarlanan Model

Eşeyli üreyen canlılarda gametler meydana getirilirken işleyen bir mekanizma olan mayoz bölünme sayesinde kromozom sayısı yarıya indirilir. Bu esnada meydana gelen olay sadece kromozom sayısının yarıya indirilmesi değildir. Aynı türe ait bir populasyonda gözlenen çeşitliliğin kaynağı da mayoz bölünmeye dayanır.

Genetik çeşitliliğin temel kaynakları, mayoz bölünme esnasında ve sonrasında gerçekleşen üç ayrı olaya bağlıdır.

Mayoz bölünme esnasında gerçekleşen ve çeşitliliğe neden olan olaylar;

- 1- Crossing-over
- 2- Bağımsız dağılım

Mayoz bölünme sonrasında ise

3- Dişi ve erkek gametlerin rastgele birleşmesi ise çeşitliliğin üçüncü kaynağıdır (Campbell 2008; Raven 1996, Russell 2006).

Mayoz bölünme, replikasyonunu yapmış bir hücrede (4n) peş peşe gerçekleşen iki bölünmeden ibarettir. Birinci bölünmede (Mayoz-I) homolog kromozomlar (anasal ve babasal kaynaklı iki kromozomun oluşturduğu bir kromozom çifti) birbirinden ayrılır ve farklı hücelere gider (2n), iki hücre oluşur. Bu olay Mendel' in Bağımsız Dağılım Yasasının temelini oluşturur. İkinci bölünmede (Mayoz-II) ise bu kromozomlar kardeş kromatitlerine ayrılır ve farklı hücelere gider (n), dolayısıyla dört hücre oluşur. Sonuçta haploid kromozom sayısına sahip ve genetik açıdan birbirine benzemeyen dört hücre oluşur (Burada kardeş olmayan kromatitler arasında gerçekleşen crossing over ihmal edildiği için oluşan dört hücrenin ikisinin birbirinin aynı olduğu kabul edilebilir).

Mayoz bölünme sonucu hücrelerin birbirinden farklı olmasının temel sebebi Mayoz-I esnasında homolog kromozomların birbirinden rastgele ayrılmasıdır (Campbell&Reece 2008; Raven 1996, Russell 2006). Oysa genel olarak öğrencilerin kafasında çeşitlilik nedeni olarak crossing-over kavramı belirmektedir. Gerçekte crossing-over yeni gen dizilimi kaynağı olarak çeşitliliğe kaynak oluşturur. Bağımsız dağılım çeşitliliğin temelini kurarken, crossing-over meydana gelen yeniliklerle çeşitliliği artırır. Crossing-over,

homolog kromozomların kardeş olmayan kromatitleri arasında genlerin karşılıklı yer değiştirmesi sonucu meydana gelen YENİ DÜZENLEME (rekombinasyon) sayesinde gerçekteşen bir YENİLİK meydana getirir (Bahçeci 2005; Campbell 2008; Demirsoy 1991; Karol ve diğ, 1998; Raven 1996, Russell 2006). Normalde bireyde bir arada bulunmayan, yani bireyin anne ve babasından aldığı homolog kromozomlarda ayrı kromozomlarda bulunan iki gen, dolayısıyla iki özellik, birey gamet oluştururken crossing over sayesinde bir araya gelebilir. Oluşan bu yenilik elbette çeşitlilik için kaynaktır, fakat bu kavram bağımsız dağılımdan kaynaklanan çeşitliliğin temel kaynağını maskeleymektedir. Oysa crossing over bir bireyin anne ve babasından gelen özelliklerinin birbirine karıştırılması (aslında farklı kromozomlarda iken, bireyin gamet oluşturması esnasında aynı kromozoma toplanması) yoluyla yenilik sağlar, bu olay çeşitlilik olarak değil, yenilik olarak vurgulanmalıdır.

Mayoz bölünme anlatılırken “crossing over gerçekteşmezse çeşitlilik oluşur mu?” sorusuna ise genelde öğrencilerden ya hayır cevabı alınır ya da cevap alınamaz. Bu durumda öğrenci zihninde crossing overın çeşitlilikteki rolünün bağımsız dağılımı arka planda bıraktığı ifade edilebilir.

Crossing overın bağımsız dağılımı maskeleyen bu etkisi bir modelle anlatılıp vurgulanarak ve kaynak kitaplarda konunun detaylandırılarak anlatılmasıyla giderilebilir. Bu nedenle hazırlanan bu öneri metninin amacı konuyu en basit ve en kolay anlaşılır düzeyde ifade etmektedir. Ayrıca bu anlatımda, crossing over gerçekteşmezse dahi çeşitliliğin oluşabileceğini kavratmak amacıyla crossing over göz ardı edilmiştir.

Öncelikle modelin anlaşılması ve temel kavramlar için basit bir sunumla başlanacaktır. İnterfazdaki herhangi bir hücrede, her kromozom çiftinde organizmanın dişi ebeveyninden gelen bir homolog ve yine erkek ebeveyninden gelen ikinci homolog kromozomu vardır (Şekil 1). Bazen sıralı hermafrodit üreme biçimini gösteren canlılarda olduğu gibi dişi ve erkek atanın aynı organizma olabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 1. Bir çift kromozom takımı taşıyan temsili bir türün, replikasyon öncesi kromozomları (Pembe renkli kromozomlar anneden, mor renkli kromozomlar babadan gelen kromozomları temsil etmektedir)

Bu hücrede mayoz bölünmeden önce DNA replikasyonu gerçekteşir ve kardeş kromatitler oluşur. Bu sonuç basitçe aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Şekil 2). Replikasyondan sonra bu nedenle profaz evresi esnasında bir çift homolog kromozom dört kromatitli yapı biçiminde görülür (tetrad).



Şekil 2. Aynı temsili türün profaz-I esnasında gözlenen dört kromatitli yapı

Modeli tanıdıktan sonra, bağımsız dağılımı anlamak için, kromozom sayısı yedi çift (14) olan bir türün mayoz bölünme ile gamet meydana getirdiğini ve bu esnada crossing-over gerçekleşmediğini farz edelim. Kitaplarda bu sayı genellikle iki çift kromozomla anlatıldığı için, öğrencinin kafasında muhtemelen tam oturmamaktadır. Bağımsız dağılım sonucu oluşacak gamet çeşidi sayısı 2^n formülü ile hesaplanır. Buna göre,

$2^n = 2^7 = 128$ (n: türün haploid kromozom sayısı). Bu hesaplama yöntemi tüm öğrenciler tarafından bilinir, fakat öğrenciler bunun kaynağı konusunda bir açıklamada bulunamaz.

Elde edilen 128 rakamı crossing over olmadan meydana gelen gamet çeşidi olasılığıdır. O halde crossing over yoksa bu kadar çeşitli gamet nasıl oluşur? Cevap basittir: Homolog kromozomların bağımsız dağılması.

Bağımsız dağılım: Anafaz-I evresinde bir organizmanın anasal ve babasal kaynaklı homolog kromozomların birbirinden bağımsız olarak rastgele ayrılmasıdır. Bağımsız dağılım (ayrılma), aynı zamanda Mendel Kalıtımının temel kuralıdır.

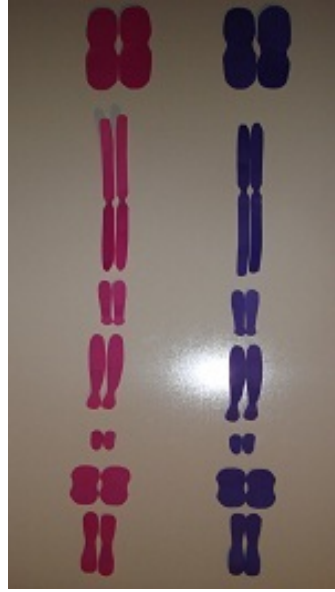
Konu örnek üzerinde anlatılacak olursa; 14 (7 çift) homolog kromozoma sahip bir türdeki organizma bunların yedisini anadan, diğer yedisini babadan almıştır.

Anafaz-I evresinde aynı bireyin anasal ve babasal kaynaklı kromozomları rastgele ayrılır. Bu olayın kaynağı metafaz-I evresindeki homolog kromozomların rastgele dizilmesidir. Örneğin 14 kromozoma sahip bu bireyin yedi kromozomu anneden, diğer yedi kromozom ise babadan gelmiştir. O halde, 14 kromozom çiftinde homolog kromozomlar birbirinden ayrılırken anasal ve babasal kaynaklı kromozomların ayrılması nasıl olacaktır?

Aşağıdaki şekillerde mayoz-I'in anafaz-I evresinde homolog kromozomların birbirinden ayrılmasını sağlayacak, metafaz-I' de 2^{n-1} ihtimalle (64) meydana gelen rastgele dizilimlerin bazılarının resmi verilmiştir.

1. Olasılık:

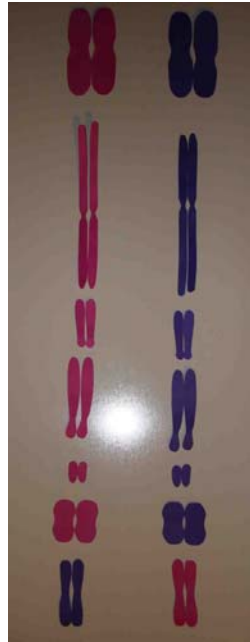
Yedi anasal kaynaklı kromozom bir hücreye, babasal kaynaklı diğer yedi kromozom diğer hücreye gidebilir. Bu durumda anasal ve babasal kaynaklı kromozomlar, gamet oluşturan organizmanın başlangıçtaki gametleri gibi (organizmanın kendisini oluşturan, anne ve babasından gelen gametler) hiç karışmadan ayrılacak demektir (Şekil 3). Yani organizma anasından aldığı yedi kromozomu bir hücreye, babasından aldığı yedi kromozomu diğer hücreye verecektir. Böylece bireyin kromozomları birbirine karışmadan gamet oluşacaktır.



Şekil 3. Kromozomların karışmadan dağılma olasılığı

2. Olasılık:

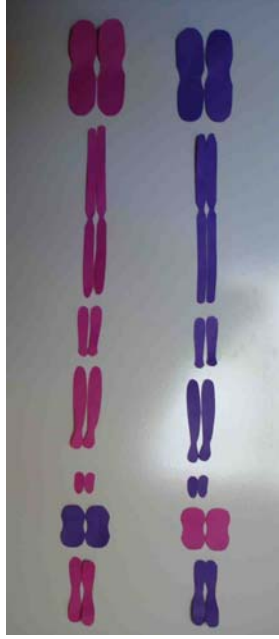
İkinci olasılıkta ise sadece bir kromozomu karıştıralım. Birinci homolog kromozom çiftinin anasal kaynaklı olanı ile 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı homolog kromozomların babasal kaynaklı olanı sağdaki hücreye gitsin (Şekil 4). Bu durumda soldaki hücreye ise 1 numaralı babasal kaynaklı ve 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı anasal kaynaklı kromozomlar gidecektir (kromozomlara şekilde aşağıdan yukarıya doğru numara verdimizi farz edelim). İkinci olasılığımızda oluşacak gametlerin birinci olasılığımıza göre (Şekil 3) farklı olacağı açıktır. Sadece bir kromozomun değişmesi oluşacak gameti değiştirmiştir.



Şekil 4. Birinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

3. Olasılık:

Bu olasılıkta yine tek kromozomda farklılık yaratalım, fakat bu kez kromozomu değiştirip, 2 numaralı kromozomu kullanalım. Anasal kaynaklı 2 numaralı kromozom ile babasal kaynaklı 1, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı kromozom sağdaki hücreye; soldaki hücreye ise doğal olarak 2 numaralı babasal kaynaklı ve 1, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı anasal kaynaklı kromozomlar gidecektir (Şekil 5).



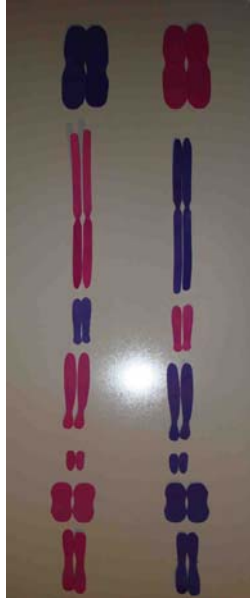
Şekil 5. İki numaralı kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

Dikkat edilirse ikinci (Şekil 4) ve üçüncü (Şekil 5) olasılıkta tek bir kromozomun nedeniyle oluşan iki farklılık söz konusudur. Bir tek kromozomu değiştirerek farklılık oluşması, yedi kromozom için de ayrı ayrı düşünülebilir.

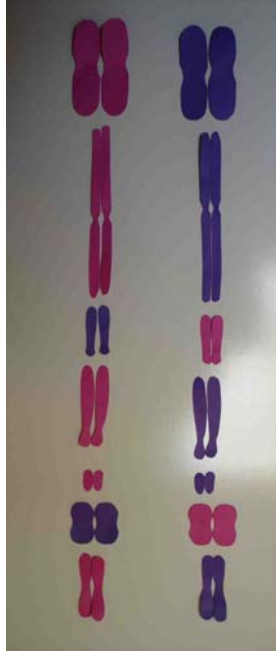
Bundan sonra iki kromozomda farklılık yaratalım, 3. durumda iki kromozom babasal kaynaklı olsun.

4. Olasılık:

Anasal kaynaklı 5. ve 7. kromozom ile babasal kaynaklı 1, 2, 3, 4 ve 6. kromozom sağdaki hücreye; diğer hücreye ise babasal kaynaklı 5. ve 7. kromozom ile ve 1, 2, 3, 4 ve 6. anasal kaynaklı kromozom gidecektir (Şekil 6). Sadece iki kromozom için, kromozomlar değiştirilirse ortaya çıkacak olan bir başka alternatif Şekil 7'de sunulmuştur.

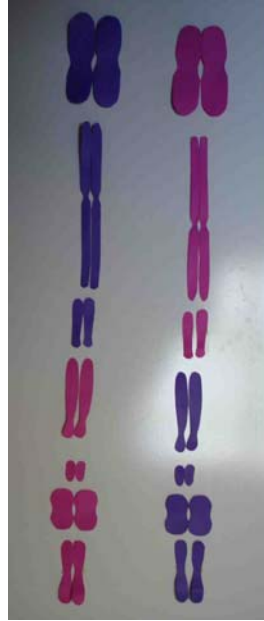


Şekil 6. Beşinci ve yedinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

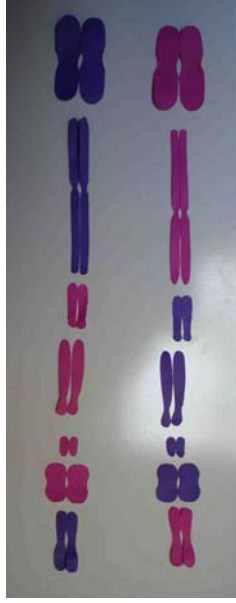


Şekil 7. İkinci ve beşinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

Sağdaki hücreye gidecek homologlarda anasal kromozomların sayısını üçe çıkaralım (Şekil 8, 9).

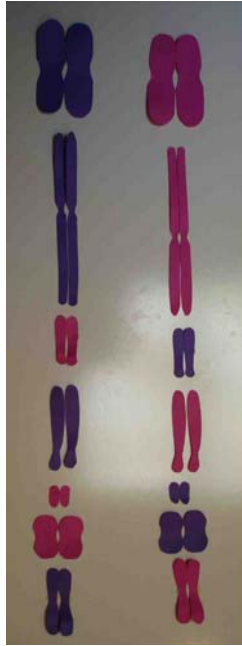


Şekil 8. Beşinci, altıncı ve yedinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

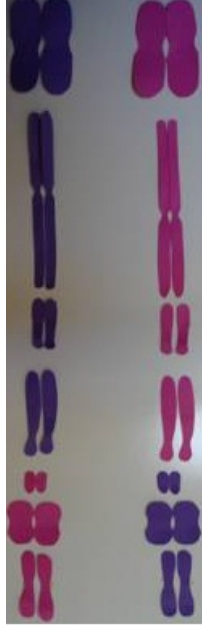


Şekil 9. Birinci, altıncı ve yedinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

Sağdaki hücreye gidecek anasal kaynaklı kromozom sayısı dörde çıkarılırsa (Şekil 10) ve yine farklı kromozomlar kullanılırsa (Şekil 11) ortaya çıkan gametler yine değişmiş olacaktır.



Şekil 10. Birinci, dördüncü, altıncı ve yedinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık



Şekil. 11. Dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci kromozomların değişimiyle oluşan farklılık

Şimdiye dek sunulan tüm olasılıklar, 64 alternatiften sadece onbir alternatiftir. Farklı sayıda ve farklı kromozom çiftlerinin farklı kutplara gitmesiyle oluşacak 53 alternatif daha vardır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken en önemli durum bu alternatiflerden hiç birinde crossing-over gerçekleşmediği farz edilmiştir. Dolayısıyla hipotetik bir alternatif olarak hiç crossing-over gerçekleşmese bile oluşacak gametler muhakkak birbirinden farklı olacaktır.

Örneğin, insan için crossing-overın gerçekleşmediği durumda oluşacak gamet çeşidi;

$$2^{23} = 8 \text{ milyondan fazla}$$

Yani bir birey 8 milyonda bir ihtimalle aynı tip gameti ikinci kez oluşturabilir.

Bu durumda aynı anne ve babanın aynı anda aynı tip gamet oluşturarak bunların döllenme olasılığı ise daha da düşecektir.

$$1/8 \text{ milyon} \times 1/8 \text{ milyon} = 1/64 \text{ milyondur.}$$

Bu olasılığa crossing over eklendiğinde crossing over sayısına göre bu olasılığın daha da düşeceği açıktır.

Ya da daha basit ve daha eğlenceli bir ifade ile bir çiftin 64 milyon tane çocuk yapma olasılığı olsa ve bu bireyler gamet oluştururken crossing over gerçekleşmezse iki çocuğun birbirine tıpatıp benzeme olasılığı 64 milyonda birdir demek konuya eğlenceli bir bakış açısı sunar.

Kısacası, Mayoz-I' in anafaz evresinde meydana gelen homolog kromozomların kutplara rastgele ayrılması canlılarda gamet çeşitliliğinin temelini oluşturur. Bu durumda mayoz bölünmede çeşitlilik kaynağı olarak öğrenciler crossing overı ifade ettiğine göre, crossing overın bağımsız dağılımı maskeleyiği söylenebilir.

Crossing over ise oluşacak gametlerde yenilik oluşmasına neden olarak, çeşitliliğe katkı sağlar. Crossing over çeşitlilik için kaynaktır. Fakat crossing overın olağan dışı yanı, ana ya da babada doğal olarak bir arada olmayan, fakat gamet oluştururken bir araya gelen yeni gen dizilimi taşıyan kromozom yapısı oluşturarak çeşitliliğe kaynak oluşturmaktadır. Bu nedenle bağımsız dağılım ve crossing overın çeşitliliğe katkılarının doğru değerlendirilmesi ve çeşitliliğe etkilerinin bu farklı yönlerinin vurgulanması gerekmektedir.

Sonuçta Profaz-I evresinde meydana gelen crossing over Anafaz-I evresinde meydana gelen bağımsız dağılım (ayrılma) sayesinde oluşacak gametlerde çeşitlilik olasılığı artar ve bu çeşitlilik popülasyonlardaki çeşitliliğin kaynağını oluşturur.

SONUÇ

Bu makalede, genetik çeşitlikte önemli role sahip olan ancak öğrenciler tarafından pek anlaşılmayan bağımsız dağılım konusunun anlaşılması için bir model önerisinde bulunulmuştur. Bu anlatımda, özellikle crossing over (parça değişiminin) ihmal edilerek, oluşabilecek olan çeşitlilik anlatılmaya çalışılmıştır. Çünkü, öğrenciler çoğunlukla, genetik çeşitliliğin nedenini sadece crossing overa bağlamaktadırlar. Bu modelle, bu yanlışlığın önlenmesi amaçlanmaktadır. Anlatımda kullanılan modelin kolay hazırlanabilecek malzemelerden oluşması, konunun anlatılmasını ve anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Mayoz bölünme kaynak kitaplarda her ne kadar kromozom sayısının indirildiği bir bölünme tipi olarak vurgulansa da, bu temel özellik yanında eşeyli üreyen canlıların, üreme ve adaptasyonundaki başarılarının altında çeşitliliğin yattığı vurgulanmalıdır. Çeşitliliğin mayoz bölünmede gerçekleşen bu iki ayrı olayın (bağımsız dağılım ve crossing over) ve sonrasında meydana gelen rastgele döllenme sonucu ortaya çıktığının vurgulanması çok önemlidir. Bu nedenle mayoz bölünme anlatılırken ya da bu konuyla ilgili bir kitap yazılırken bağımsız dağılım, crossing overdan daha fazla vurgulanmalı ve daha öne çıkarılmalıdır. Çünkü bu takdirde mayoz bölünmenin çeşitlilikteki rolünün anlaşılması kadar, Mendel Genetiği ve Mendel Yasasının anlaşılması da sağlanmış olacaktır.

KAYNAKÇA

- Atılboz, N. G. (2004). Lise 1. Sınıf Öğrencilerinin Mitoz ve Mayoz Bölünme Konuları İle İlgili Anlama Düzeyleri ve Kavram Yanılgıları. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24(3):147-157.
- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86.
- Bahçeci, Z. (2005). *Genetik*. Kırşehir: Öğrenci Kitabevi Yayınları.
- Batzli, L. E. (1999). *Conceptual changes strategies in teaching genetics*. PhD Thesis, University of Minnesota, Umi Number: 9937833
- Campbell, N. A. & Reece J. B. (2008). *Biyoloji*. (Çeviri Editörleri: Gündüz, E., Demirsoy A., Türkan İ.). Ankara: Palme Yayıncılık.
- Demirsoy A. (1991). *Kalıtım ve Evrim*. Ankara: Meteksan Yayınevi.
- Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. *Scientific Research and Essay*, 5 (2): 235-247. 0
- Emre, İ., & Bahşi, M. (2006). Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Hücre Bölünmesiyle İlgili Kavram Yanılgıları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 70-73.
- Karol, S., Suludere Z. & Ayalı, C. (1998). *Biyoloji Terimleri Sözlüğü*. Ankara: Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Kurumu Yayınları.
- Knippels, M. C. P. J., Waarlo A. J. & Boersma, Kerst T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3):108-112.
- Krawczyk, T. D. (2007). *Using problem-based learning and hands on activities to teach meiosis and heredity in a high school biology classroom*. Master of science, Michigan State University, Umi number: 1448491.
- Lewis, J., Leach, J. & Wood-Robinson. (2000). Chromosomes: the missing link-young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34(4): 189-199.
- Maraş, M. & Akman, Y. (2009). Hücre biyolojisi konusunda öğrencilerin Anlama düzeyleri ve kavram yanılgıları. *Milli Eğitim*, 181, Kış, 146-151.
- Quinn, Frances., Pegg, J. & Panizzon, D. (2009). First-year biology students' understandings of meiosis: An investigation using a structural theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 31 (10): 1279-1305.
- Raven, P. H., Johnson, G. B. (1996). *Biology*. Boston: McGraw Hill Companies.
- Russel, P. J. (2006). *Genetics: A Molecular Approach*. San Francisco: Pearson Education.
- Sinan, O., Yıldırım, O., Kocakülah, M. S. & Aydın, H. (2006). Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Proteinler, Enzimler ve Protein Sentezi ile İlgili Kavram Yanılgıları. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(1): 1-16.
- Smith, M. (1991). Teaching cell division: Student difficulties and teaching recommendations. *Journal of College Science Teaching*, 21, 28-33.
- Tekkaya, C., Özkan, Ö., Sungur, S. (2001). Biology concepts perceived as difficult by turkish high school students. Lise öğrencilerinin zor olarak algıladıkları biyoloji kavramları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 21: 145-150.
- Wynne, C. F. , Stewart, J., & Passmore, C. (2001). High school students' use of meiosis when solving genetics problems. *International Journal of Science Education*, 23: 5, 501-515.