

Haşhaş (*Papaver somniferum* L.)'ta Heterosis

Negar VALIZADEH^{1*}, Muhsin AĞAMİRZAOĞLU²

¹Doğu Azerbaycan Tarım ve Doğal Kaynaklar Araştırma ve Eğitim Merkezi, Tarımsal Araştırma, Eğitim ve Yayın Organizasyonu (AREEO), Tebriz, İRAN

²Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2025

Kabul Tarihi/Accepted: 26.06.2025

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0003-3066-2534  orcid.org/0009-0002-8853-4746

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: n.valizadeh@areeo.ac.ir

Öz: Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) içerdği alkaloidler ve yüksek yağ oranı nedeniyle hem tıbbi hem de endüstriyel açıdan önemli bir bitkidir. Türkiye başta olmak üzere birçok ülkede geleneksel olarak yetiştirilen haşhaş, tohumları, kapsülleri ve çiçekleriyle gıda, ilaç, kozmetik ve boya sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Haşhaş ıslahında, yüksek verimli, kaliteli ve çevre koşullarına dayanıklı yeni çeşitlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için kullanılan yöntemlerden biri de heterosis (melez gücü) olgusudur. Heterosis, genetik olarak farklı iki bireyin melezlenmesi sonucu elde edilen F1 neslinde, anaçlara kıyasla gözlenen üstün performansı tanımlar. Bu üstünlük; erkencilik, fide gelişimi, kök yapısı, kapsül sayısı, tohum verimi, alkaloid içeriği ve çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılık gibi özelliklerde ortaya çıkmaktadır. Literatürde haşhaş bitkisinde kapsül ve tohum verimi için % 20 ile % 80 arasında, morfin verimi için ise % 10 ile % 60 arasında heterosis değerleri bildirilmiştir. Erkek kısırlığı, melez tohum üretiminde kullanılabilecek önemli bir araç olup, bazı çalışmalar gama ışınlaması ve türler arası melezlemelerle haşhaşta indüklenmiş erkek kısırlık hatlarının geliştirilebildiğini göstermektedir. Ayrıca, heterosisin genetik temelleri, ebeveyn hatları arasındaki genetik mesafeye, kombinasyon yeteneklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Heterosis, yalnızca morfin ve tohum verimi gibi ekonomik öneme sahip özelliklerde değil, aynı zamanda bitkinin morfolojik ve fenolojik özelliklerinde de olumlu etkiler yaratmaktadır. Hibrit hatlarda bitki boyu, kapsül büyüklüğü, çiçeklenme süresi ve alkaloid profili bakımından önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu nedenle heterosis, haşhaş ıslahında kullanılabilecek etkili bir strateji olarak ön plana çıkmaktadır. Bu derlemede, *P. somniferum* bitkisinde heterosis olgusunun biyolojik temelleri, uygulama yöntemleri ve ıslah programlarındaki yeri güncel literatür verileri ışığında kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Haşhaş, *Papaver somniferum*, ıslah, heterosis, alkaloid

Heterosis in Poppy (*Papaver somniferum* L.)

Abstract: Poppy (*Papaver somniferum* L.) is an important plant that is used in pharmaceutical and other industries due to the presence of alkaloids and its high oil contents. It is traditionally grown in many countries, including Türkiye. Poppy seeds, capsules and flowers are used in areas like food, pharmaceutical, cosmetic and paint industries. The development of new high yielding, with high quality and resistance to environmental conditions is of great importance. One of the methods used to achieve these goals is the phenomenon of heterosis (hybrid vigor). Heterosis describes the superior performance observed in the F1 generation obtained as a result of the crossbreeding of two genetically different individuals, compared to the parents. This superiority is evident in features such as earliness, seedling development, root structure, number of capsules seed yield, alkaloid contents and resistance to environmental stress factors. Heterosis values between 20% to 80% for capsule and seed yields and between 10% to 60% for morphine yield have been reported in poppy plants. Male sterility is an important tool that can be used in hybrid seed production. Some studies show that induced male sterile lines can be developed in poppy by gamma irradiation and interspecific cross breeding. The genetic basis of heterosis may vary depending on the genetic distance between parental lines, their combining abilities and environmental factors. Heterosis has positive effects not only on economically important traits such as morphology and seed yield, but also on the morphological and phenological characteristics of the plant. Significant differences were observed in hybrid lines in terms of plant height, capsule size, flowering time and alkaloid profile. Therefore, heterosis stands out as an effective strategy that can be used in poppy breeding. Biological basis of heterosis

in *P. somniferum*, its application methods and its place in breeding programs were comprehensively discussed in the light of current literature data in this review.

Keywords: Poppy, *Papaver somniferum*, breeding, heterosis, alkaloid

1. Giriş

Bilimsel olarak *Papaver somniferum* L. olarak sınıflandırılan haşhaş, tek yıllık bir bitkidir. Rhodales takımının Papaveraceae familyası içinde yer alan bu bitki, yaklaşık 250 türü bulunan *Papaver* cinsine aittir. Türkiye'de ise Papaveraceae familyasından 7 farklı cins bulunmaktadır (Masihuddin ve ark., 2018; Shah ve ark., 2025). Haşhaş (*P. somniferum* L.) bitkisi, Türkiye ve dünyanın birçok bölgesinde tarih boyunca yetiştirilmiş önemli bir bitkidir. Milattan önce 3000 yıllarında Mezopotamya'da yaşamış olan Sümerler'in dilinde afyona ait kelimelere ve Asurlular'a ait kabartmalarda haşhaş resimlerine rastlanması, bitkinin köklü bir geçmişe sahip olduğunu göstermektedir. Birçok kültür bitkisinin gen kaynağı olan Türkiye'de, haşhaşın da özel bir yeri vardır. Anadolu'da Hititler döneminden beri haşhaş tarımının yapıldığı, çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir (Kaya, 2024). Haşhaş, tohumları, yağı, çiçekleri ve kapsülleri ile hem ekonomik hem de kültürel açıdan önemli bir bitkidir. Gıda, süs bitkisi ve tıbbi amaçlarla çeşitli alanlarda kullanılan haşhaş, özellikle tohumları sayesinde dikkat çekmektedir. Haşhaş tohumları, yaklaşık % 40-50 oranında yağ içerir ve bu yağın içeriği tohum rengine göre değişiklik gösterir. Beyaz tohumlar en yüksek yağ oranına sahipken, sarı tohumlar ikinci sırada yer alır. Gri-mavi renkli tohumlar ise daha düşük yağ oranına sahiptir. Haşhaş yağı, doymamış yağ asitleri bakımından zengin olması nedeniyle sağlıklı yağlar arasında yer alır. Bu özelliği sayesinde mutfakta salatalar ve kızartma gibi yemeklerde kullanılır. Aynı zamanda çabuk kuruma özelliği sayesinde ressamlık, kozmetik, sabun, parfüm gibi birçok endüstriyel alanda da yaygın olarak tercih edilir (Kahraman-Yanardağ ve ark., 2024).

Kapsüllerinde bulunan, özellikle morfin, papaverin, tebain ve kodein gibi alkaloidler sayesinde haşhaş, önemli bir ilaç hammaddesi kaynağıdır. Haşhaş kapsüllerinden elde edilen morfin ve diğer alkaloidler, tıpta sakinleştirici ve ağrı kesici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle kanser hastalarının en ağrılı dönemlerinde morfinin yerini hiçbir sentetik ilaç alamamaktadır. Gelişmiş ülkelerde sentetik ilaçların yan etkileri nedeniyle bitkisel ilaçlara olan ilgi giderek artarken, Türkiye'de de geleneksel olarak yetiştirilen haşhaş, bu alanda önemli bir potansiyele sahiptir.

Haşhaş ıslah çalışmalarında, tohum veriminin artırılması, erkencilik, hastalık direnci, yağlık çeşitlerde yağ oranının yükseltilmesi ve morfin oranının düşürülmesi gibi hedefler ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda, ilaç sanayisi için yüksek morfin, noskabin, kodein ve tebain içeren çeşitlerin geliştirilmesi de önemli bir ıslah amacıdır. Mevcut çeşitlerdeki genetik çeşitlilikten yararlanılarak, melezleme (heterosis) yöntemi ile bu özelliklere sahip üstün haşhaş hatlarının geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından, morfin ve tohum verimi gibi pek çok verim ögesinde heterosis etkisi gözlemlenmiştir. *Papaver somniferum* türünde, hem tarımsal hem de kimyasal özellikler bakımından heterosis belirlenmiştir. Avrupa varyetelerinin kullanıldığı melezleme çalışmalarında, F1 hibritlerinin kapsül ve tohum verimleri, anaçların ortalama veriminden daha yüksek bulunmuş ve bu varyetelerin en iyi performansı gösteren anaçlar olduğu tespit edilmiştir (Khatik ve ark., 2017; Singh ve ark., 2021). Haşhaşta kapsül verimi için % 52.8, tohum verimi için % 22.7 ve afyon verimi için % 43.6 oranında heterosis tespit edilmiştir (Khatik ve ark., 2016). Bu derlemede, haşhaş (*P. somniferum*) bitkisinde heterosis olgusunun genetik, fizyolojik ve ıslah açısından önemi literatür bulguları ışığında değerlendirilmiştir.

2. Haşhaşın Morfolojisi

Haşhaş bitkisi, 30-180 cm arasında boyolanabilen, tek yıllık, otsu ve kazık köklü bir bitkidir. Yan kökleri zayıf olduğu için, özellikle sulanma veya yağış sonrası kuvvetli rüzgarlarda devrilebilir. Sapa yuvarlak, mavi-yeşil renkte olup, mumsu bir tabakayla kaplıdır. Bazı bitkilerde, özellikle sap ve dalların kapsüle yakın kısımlarında dikenimsi tüyler görülebilir. Yaprakları ise yeşil, gri veya mavimsi yeşil renkte ve mumsu bir yapıdadır. Bitkinin farklı bölgelerindeki yapraklar farklı şekillerdedir: Dip yaprakları dar ve uzun, orta yapraklar daha geniş ve yuvarlak, uç yapraklar ise kalp şeklindedir. Haşhaşın iri çiçekleri, ana sap ve yan dalların uç kısımlarında oluşur. İlk olarak ana sapın ucundaki tomurcuk açar. Çiçeklerin rengi beyaz, kırmızı, pembe ve morun farklı tonlarında olabilir. Bazı çiçeklerin taç yapraklarının taban kısmında kalp şeklinde beyaz, siyah veya mor renkli benekler bulunur.

Tomurcuk, yumurta veya armut şeklinde olup oldukça iridir. Tomurcuğun dış kısmında iki çanak yaprağı bulunurken, iç kısımda dört taç yaprağı yer alır. Daha içte ise sayıları 80-150 arasında değişen çok sayıda erkek organ bulunur. Bu erkek organların polen keseleri iki gözlüdür. Tomurcuğun orta kısmında ise 4-20 arasında değişen tepecik sayısına sahip tek bir dişi organ yer alır. Yumurtalık, tepecik sayısı kadar bölmeye sahiptir. Haşhaş çiçeği genellikle sabahın erken saatlerinde, ortalama 4-5 civarında açar. Tozlaşma süreci de oldukça hızlı olup, çiçek açtıktan sonraki 4-5 saat içinde tamamlanır. Taç yaprakları, çiçek açtıktan yaklaşık 2-3 gün sonra kuruyarak dökülür. Bir bitkideki toplam çiçeklenme süresi, bitkinin dal sayısına bağlı olarak 2 ile 10 gün arasında değişebilir. Çiçeklenme, ana sapın ucundaki tohumcukla başlar ve daha sonra yan dallara doğru, yumurdan aşağıya doğru sırayla devam eder.

Haşhaşta dişi organ, erkek organlara göre genellikle birkaç gün daha geç olgunlaşır. Ancak, erkek organlar çiçek açmadan bir gün önce olgunlaşabilir. Haşhaş, ortalama % 90 oranında kendi kendine döllen bir türdür. Ancak, çeşit ve çevre koşullarına bağlı olarak yabancı döllenme oranı da değişebilir. Bitkinin büyük ve renkli çiçekleri ile çok sayıdaki erkek organı (stamen), böcek ve arıları cezbederek polenlerin taşınmasına yardımcı olur (Miller ve ark., 2005). Bazı çeşitlerde, stigma üzerindeki mumsu tabaka gibi özellikler yabancı döllenme oranını artırabilir. Avrupa varyetelerinde tozlayıcıların varlığına bağlı olarak yabancı döllenme oranı % 15-40 arasında değişiklik göstermektedir (Martínez-Harms ve ark., 2020). Hint varyetelerinde yabancı döllenme oranı, çiçek rengi (arılar genellikle beyaz çiçekleri viyole renkten tercih eder), tozlayıcı etkinliği ve popülasyon büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak % 0 ile % 70 arasında değişkenlik göstermektedir (Brunet ve ark., 2021; Trunschke ve ark., 2021). Haşhaşın meyvesi olan kapsül, yumurtalığın gelişmesiyle oluşur. Kapsül şekilleri genel olarak beş ana grupta toplanabilir. Kapsül büyüklükleri oldukça çeşitlilik gösterir; tüm çeşitler ve yetiştirme koşulları göz önüne alındığında, genişlik 1.0 ila 8.0 cm, uzunluk ise 1.5 ila 9.0 cm arasında değişebilir. Yabancı çeşitlerde genellikle bitki başına düşen kapsül sayısı fazla olsa da, kapsüller daha küçüktür. Kültür çeşitlerinde ise kapsül sayısı daha az olmasına rağmen, kapsüller daha büyüktür. Kültür çeşitlerinin çoğunda ortalama kapsül genişliği 4-7 cm, uzunluğu ise 4-8 cm arasında değişir. Haşhaş bitkisi çok küçük tohumlara sahiptir. Haşhaş tohumunun 1000 tane ağırlığı ortalama 0.50-0.70 gram arasında değişir. Tohumların rengi beyaz, sarı, açık kahve, kahverengi, pembe ve gri-mavi tonlarında olabilir.

3. Haşhaşta Melez Çeşit Islahı

Melez Çeşit: Genetik özellikleri farklı olan ve kendi kendine döllenerek homojen hale getirilmiş iki veya daha fazla hattın çaprazlanması sonucu elde edilen birinci nesil döle F1 melezi veya melez çeşit denir. Bu melezler, heterozigot yapıda olup, genellikle anaçlarından daha iyi özelliklere sahiptir.

Melez çeşit ıslahında homozigot hale getirilen ebeveynler genellikle kendilenmiş hatlar olarak adlandırılır. Kendilenmiş hatlar, özellikle yabancı döllen popülasyonlarda sürekli olarak kendi kendine tozlanma işlemi uygulanarak elde edilir. Kendine döllen bitkilerde melezleme işlemi, tamamen homozigot hale gelmiş olan iki farklı hattın doğrudan çaprazlanması şeklinde gerçekleştirilir. Elde edilen melez döle, homozigotluğa ulaşana kadar tekrar kendi kendine tozlanma işlemi uygulanır. Böylece oluşturulan saf hat, yeni bir çeşit olarak kabul edilir. Jonsson ve Jonsson (1986), düşük morfinli, siyah tohumlu Soma çeşidini yüksek verimli yabancı çeşitlerle melezleyerek elde ettikleri hatlar üzerinde seleksiyon yapmışlar ve sonuç olarak üç adet siyah tohumlu, düşük morfin içeren yeni hat elde etmişlerdir. Bu yeni hatlar, hem tohum verimi hem de *Helminthosporium papaveris* hastalığına karşı Soma çeşidine göre daha dayanıklı bulunmuştur. Ancak, tebaini esas alkolit kabul ederek yapılan seleksiyon çalışmalarında, tebain oranı yüksek olan bitkilerde $2n=23$, $2n=24$ veya $2n=36$ gibi anormal kromozom sayıları tespit edilmiştir. Bu durum, tebain biyosentezi ile kromozom sayıları arasında bir ilişki olduğunu düşündürmektedir. Fazla kromozomların elimine edilerek kromozom sayısı $2n=22$ 'ye düşürülmeye çalışıldığında ise, bu kez morfin oranı artış göstermiştir. Bu bulgu, kromozom sayısının morfin biyosentezi üzerindeki önemli etkisini göstermektedir. Soma çeşidi ile beyaz tohumlu yabancı hatların melezlenmesi sonucu elde edilen bazı beyaz tohumlu hatlar, Soma çeşidine göre % 25 daha az tohum verimi göstermesine rağmen, yağ içeriği açısından önemli ölçüde daha zengin bulunmuştur. Bu sonuç, tohum rengi ve yağ içeriği arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

3.1. Erkek kısırlığı

Kültür bitkilerinde erkek kısırlığı yaygın görülmesine de, yapılan araştırmalar sonucu bazı türlerde farklı formlarda erkek kısırlığına rastlanmıştır. Bu özellik, bitki ıslahında hibrit çeşitler geliştirmek için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Erkek kısırlığı, bitkilerde çeşitli şekillerde ortaya çıkabilen bir durumdur. Bazı bitkilerde çiçek tozu oluşumu azalır veya hiç gerçekleşmez. Ayrıca, erkek organların tamamen

bulunmadığı veya yapısal bozukluklar gösterdiği staminal kısırlık tipi de gözlemlenebilir. Bazı durumlarda ise çiçek tozları normal şekilde oluşmasına rağmen, keseler patlamaz ve bu durum yapısal sterilité olarak adlandırılan bir erkek kısırlık türüdür.

Genetik veya genetik-sitoplazmik erkek kısırlığı, birçok bitki türünde ticari hibrit tohum üretimi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Doğal erkek kısırlığı vakaları *P. somniferum* türünde şimdiye kadar bildirilmemiş olsa da, yapılan bazı araştırmalarda gama ışını uygulaması yoluyla indüklenmiş erkek kısırlığı incelenmiştir. Örneğin, CSIR-CIMAP'ta yürütülen bir çalışmada, 10 ve 20 kR dozlarında gama ışını uygulanmasının afyon haşhaşının M1 generasyonunda erkek kısır bitkiler oluşturduğu gösterilmiştir (Lal ve ark., 2020). Bu yöntem, erkek kısır hatların geliştirilmesinde uygulanabilir bir yaklaşım olarak kabul edilmekte ve ıslah programları için faydalı olabileceği düşünülmektedir (Naseem ve Kumar, 2013). Ayrıca, gama ışınının üreme kısırlığı üzerindeki etkileri çeşitli türlerde de araştırılmış olup, belirli dozların etkili şekilde kısırlık oluşturabildiği ortaya konmuştur (Krüger ve ark., 2021).

Erkek kısırlığı, *P. somniferum* ve *P. setigerum* türleri arasında yapılan melezleme çalışmalarında F2 neslinde de gözlemlenmiştir (Hrishi ve Hrishi, 2005). Bu çalışmada, çiçek rengi ile polen kısırlığı arasında bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Erkek kısırlığı, haşhaş bitkisinde mutajenik uygulamalar veya türler arası melezleme gibi yöntemlerle oluşturulabilmektedir. Ancak, hibrit tohum üretiminde bu durumdan yararlanabilmek için, erkek kısırlığının genetik yapısı, kalıcılığı ve nesiller boyunca sürdürülebilirliği hakkında detaylı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Hibrit çeşitlerin üretilmesinde en yaygın ve etkili yöntem, genetik veya genetik-sitoplazmik erkek kısırlığı sistemidir. Gama ışınlaması (Singh ve Khanna, 1970) ya da türler arası melezleme (Hrishi, 1960) gibi tekniklerle elde edilen indüklenmiş erkek kısırlığı mutantları yeterince karakterize edilmemiştir. Araştırmalar, gama ışınlamasının çeşitli bitki türlerinde etkili bir şekilde erkek kısırlığı oluşturabildiğini ve hibrit tohum üretimi için kritik öneme sahip erkek kısır hatların geliştirilmesine olanak tanıdığını göstermektedir (Lattoo ve ark., 2006; Wang ve ark., 2019).

Ayrıca, bu indüklenmiş mutantların karakterizasyonu, onların genetik temellerinin anlaşılması ve ıslah programlarındaki potansiyel uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, yapılan çalışmalar, indüklenmiş erkek kısırlığın tek çekinik genler tarafından kontrol

edilebildiğini ve bu genlerin hibrit ıslah stratejilerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Rahevar ve ark., 2024).

Erkek kısırlığı bulunmayan durumlarda, hibrit tohum üretimi için kendi kendine uyumsuzluk özelliği kullanılabilir. Tek bir kapsülden elde edilen yüksek sayıda tohum (5.000-20.000), haşhaş bitkisini hibrit tohum üretimi için uygun bir aday haline getirir. Hibrit çeşitler, farklı ebeveynlerden alınan istenen özellikleri birleştirerek, morfin verimi ve tohum verimi gibi özelliklerde önemli heterosis avantajı sağladığından, haşhaş ıslahında en etkili ve hızlı üreme stratejisi olarak kabul edilir. Ticari F1 melezlerinin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için, erkek kısırlığına ek olarak yüksek genel ve özel kombinasyon yeteneklerine sahip uygun hatların oluşturulması amacıyla kapsamlı ıslah çalışmaları yürütülmesi gerekmektedir.

3.2. İzolasyon tekniği

Melezleme sonrası izolasyon için tomurcuklara kese kağıdı veya bez torba geçirmek, özellikle bu işlem geciktirildiğinde, kapsül gelişimini olumsuz etkileyebilir. Daha uygun bir yöntem, çiçeklerin izolasyonu için iri petal yapraklarını bir araya getirerek tel zimba veya iplikle sabitlemektir. Bu sayede, içerideki yumurtalık (kapsülcük) gelişirken, alttan kopan petal yaprakları bile tepelik üzerinde sıkıca tutunarak 5-10 gün boyunca yabancı polenlerin ulaşmasını engeller. Haşhaşta seçilen bireyler, uzun süreli izolasyon uygulamalarıyla homojen hale getirilebilir ve daha sonra verim denemelerine tabi tutulabilir.

4. Melez Gücü (Heterosis)

Islah çalışmalarında bir bitkinin verimini ve kalitesini artırmak için birçok yöntem denenmiş olsa da, heterosis olarak bilinen bir olguyu kullanarak daha da iyi sonuçlar elde edilebilir. Heterosis, farklı genetik yapıya sahip iki bitkinin melezlenmesi sonucu ortaya çıkan birinci nesil (F1) bireylerde gözlemlenen üstün özelliklere verilen isimdir. Başka bir deyişle, melez bireyler, ana ve baba bireylerinin özelliklerini aşan bir canlılık ve verimlilik sergileyebilirler. Heterosis, genellikle bitkilerde erkencilik, fide döneminde hızlı büyüme, vejetatif gelişmenin artışı (daha uzun boy, daha fazla dallanma, daha büyük veya sayıda yaprak), güçlü kök sistemi, ardışık ekimlere tolerans, uzun ömür, hastalık ve zararlılara karşı direnç, düşük sıcaklıklara dayanıklılık ve yüksek verim gibi özelliklerle kendini gösterir. Bazı bitkilerde (örneğin, mısır) heterosis, bitki boyu gibi büyümeyle ilgili özelliklerde, bazı bitkilerde ise

(domates, soya, haşhaş gibi) organ sayısındaki artışla kendini gösterir (Valizadeh ve ark., 2017).

4.1. Heterosisin bazı özellikleri

1. Heterosisin şiddeti, melezlenen ana bitkilerin genetik yapılarındaki farklılıklarla doğru orantılıdır. Hibrit bitkilerde heterosis şiddeti ile genetik farklılıklar arasındaki ilişki, son çalışmalarla desteklenmektedir. Örneğin, araştırmalar, heterosisin genellikle ebeveyn hatlar arasındaki genetik mesafe ile ilişkili olduğunu ve orta düzeydeki genetik mesafelerin, çok yüksek mesafelere kıyasla genellikle daha yüksek heterosis sağladığını göstermektedir (Rajan ve ark., 2023). Bu durum, hibritleme yapılan bitkiler arasındaki genetik çeşitliliğin heterosis ifadesinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, heterosisin altında yatan moleküler mekanizmaların anlaşılması konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş; çeltik ve mısır gibi çeşitli tarla bitkilerinde, heterotik genlerin belirlenmesinde dikkate değer gelişmeler sağlanmıştır (Liu ve ark., 2020). Bununla birlikte, farklı ebeveyn hatlarının kombinasyon yeteneği, heterosisin öngörülmesinde kritik bir öneme sahiptir; çünkü bu yetenek, hatların hibrit güce olumlu katkı sağlama potansiyelini yansıtmaktadır (Temesgen, 2021). Bu bulgular, heterosis şiddetinin hibritlenen bitkilerdeki genetik farklılıklarla gerçekten orantılı olduğu yönündeki görüşü desteklemekte ve literatürdeki önceki gözlemlerle de örtüşmektedir (Zandi ve ark., 2020).

2. Heterosis, en belirgin şekilde F1 neslinde gözlenir. Özellikle buğday ve diğer birçok bitki türünde yapılan melezleme çalışmalarında bu durum teyit edilmiştir. Bu sonuç, beklenen bir durumdur; çünkü, F1 neslinden sonraki kuşaklarda heterozigot bireylerin oranı giderek azalır. Vejetatif olarak çoğaltılan bitkilerde ise heterosis, sonraki nesillere aynen aktarılır.

3. Farklı türler, varyeteler ve bireyler arasında yapılan melezlemelerde her zaman heterosis (melez üstünlüğü) beklenmemelidir. Örneğin, mısırdaki rastgele seçilmiş iki kendilenmiş hattın melezlenmesi sonucu elde edilen bireylerde yüksek düzeyde heterosis gözlenmeyebilir.

4. Heterosis, farklı yetiştirme koşullarında aynı şiddette görülmeyebilir. Yazlık ve kışlık ekim yapılan haşhaş melezleri üzerinde yapılan çalışmalar, heterosisi etkileyen en önemli faktörlerden birinin çevre koşulları olduğunu göstermiştir.

5. Heterosis her zaman olumlu bir etki yaratmaz; bazen de, negatif heterosis olarak adlandırılan olumsuz etkiler gözlemlenebilir. Haşhaş üzerinde yapılan çalışmalarda (Gümüşçü ve Arslan, 2008) bu durum açıkça belirtilmiştir. Daha önce de

belirtildiği gibi, heterosis en yüksek seviyesine F1 neslinde ulaştığı için, bu durumdan yararlanmak için F1 hibritlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak, bu yöntemin ekonomik olarak sürdürülebilir olması için, heterosis sayesinde elde edilen artışın, F1 hibritlerini üretmek için yapılan masrafları karşılayacak düzeyde olması önemlidir. Bu anlamda bitkiler birkaç gruba ayrılabilir:

a) Vejetatif olarak çoğaltılan bitkiler arasında hemen hemen tüm meyve ağaçları, patates, şeker kamışı, şerbetçiotu ve birçok ilaç bitkisi bulunur. Bu tür bitkilerde, elde edilen iyi bir melezin genetik yapısının bozulmadan uzun yıllar kullanılması, F1 hibritlerini elde etmek için yapılan masrafları fazlasıyla karşılayabilir.

b) Tohumla üreyen çok yıllık bitkiler arasında orman ağaçları, yonca, korunga, nane, adaçayı ve bazı sebze türleri bulunur. Bu türlerde de üreme, diğer tohumla üreyen bitkilerde olduğu gibi tohum vasıtasıyla gerçekleşir.

c) Kendine döllenmede kısırlık gösteren, tohumla çoğalan yıllık bitki türleri, heterosis ıslahında sıklıkla kullanılan materyaldir. Mısır, şeker pancarı, sorgum, yem bitkileri ve ayçiçeği gibi ekonomik öneme sahip bitkiler, bu gruba dahildir.

d) Kendisiyle döllenebilen ancak kolayca melezlenebilen, tek bir çiçekten çok sayıda tohum elde edilen ve ekimde az miktarda tohum kullanılan bitkilerdir. Tütün ve haşhaş bu gruba örnek olarak gösterilebilir. Bu tür bitkilerde güçlü bir heterosis gözlemlendiğinde ıslah çalışmaları kullanılabilirler.

e) Buğday ve arpa gibi kendine döllen bitkiler genellikle sınırlı sayıda tohum üretir ve melezleme sürecinde çeşitli zorluklarla karşılaşılır. Bu bitkiler, heterosis potansiyelini artıran genetik erkek kısırlık sisteminden fayda sağlayabilirler. Bu sistem, kontrollü tozlaşmaya olanak tanıyarak hibrit çeşitlerin geliştirilmesini kolaylaştırır ve bu sayede artan canlılık (vigor) ve verim gibi avantajlar elde edilebilir (Singh ve ark., 2021). Genetik erkek kısırlık olmaksızın, bu tür ürünlerde heterosisten yararlanma imkânı önemli ölçüde kısıtlanmaktadır. Örneğin, hibrit buğday geliştirme çalışmaları, etkili hibritleme sistemlerinin eksikliği nedeniyle sekteye uğramıştır. Ancak, erkek kısırlık genlerinin anlaşılmasına yönelik son gelişmeler, bu durumu iyileştirebilecek potansiyel taşımaktadır (Singh ve ark., 2021). Genel olarak, kendine döllen bitkiler hibritleme açısından doğuştan gelen sınırlamalara sahip olsalar da, erkek kısırlık mekanizmalarının tanımlanması, bu bitkilerin ıslah potansiyelini artırabilir ve heterosisten faydalanılmasını mümkün

kılarak daha verimli çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Çeşitli çalışmalar, haşhaş (*P. somniferum*) bitkisinde heterosisin hem tarımsal hem de kimyasal özellikler üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Özellikle morfin içeriği ve tohum verimi açısından bu etki dikkat çekicidir. Bazı hibritlerin, afyon verimi, tohum verimi ve morfin içeriği bakımından anlamlı düzeyde pozitif heterosis gösterdiği belirlenmiş; bu durum, melezleme yoluyla yüksek verimli ve kaliteli çeşitlerin geliştirilebileceğini düşündürmektedir (Khatik ve ark., 2017).

Morfolojik (bitki boyu, kapsül sayısı) ve fenolojik (çiçeklenme süresi) özelliklerde de belirgin heterosis etkileri gözlemlenmiştir (Khatik ve ark., 2016; Matyasova ve ark., 2018).

Altmış F1 hibriti üzerinde, 12 hat ve 5 tester kullanılarak yapılan bir çalışmada; kapsül sayısı, tohum verimi ve alkaloid (morfin ve kodein gibi) içeriği bakımından önemli heterosis bulguları elde edilmiştir. Bu hibritlerin, ıslah programlarında kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır (Singh ve ark., 2021).

Genotipleme ve dizileme tekniklerinin kullanıldığı başka bir çalışmada, *P. somniferum*'da genetik çeşitlilik belirlenmiş ve bu çeşitliliğin, özellikle morfin içeriği ve verim gibi tarımsal özelliklerin iyileştirilmesinde kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur (Hong ve ark., 2021). Tohum verimi ve buna etki eden faktörlerde heterosis tahmini amacıyla yapılan bir diğer çalışmada ise, hibritler arasında belirgin genetik farklılıklar olduğu ve bu çeşitliliğin ekonomik verimliliğin artırılmasında değerlendirilebileceği belirtilmiştir (Meena ve ark., 2024).

Aynı hibrit materyal üzerinde yapılan başka bir araştırma, tohum veriminde % 86.58, afyon veriminde % 43.4, kapsül sayısında % 35, kapsül boyutunda % 16.12 ve morfin içeriğinde % 11.74 oranında artışlar bildirmiştir (Meena ve ark., 2024). Toplam 57 genetik kaynağın değerlendirildiği bir diğer çalışmada ise, kapsül boyutu ve morfin içeriği gibi özelliklerdeki varyasyonun, ekonomik verimi artırmaya yönelik ıslah programları açısından önemli olduğu belirlenmiştir (Matyasova ve ark., 2018).

Endofitlerin kullanıldığı araştırmalar, bu mikroorganizmaların morfin ve tohum verimlerini artırabileceğini ve biyoteknolojik uygulamalarla bu özelliklerin iyileştirilebileceğini göstermektedir (Ray ve ark., 2019).

Dubey ve ark. (2007), farklı haşhaş çeşitleri arasında hibritleme yaparak elde edilen melezlerin

performansını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, 7 farklı çeşit ve bunlardan türetilen 21 melezde, lateks verimi, tohum verimi, kapsül büyüklüğü ve bitki boyu gibi önemli özellikler incelenmiştir. Sonuçlar, hem eklemeli hem de eklemeli olmayan genetik varyasyonların etkili olduğunu; ancak, eklemeli olmayan varyasyonların daha belirgin olduğunu göstermiştir. UOP-82 çeşidi, çaprazlandığında yüksek verim ve kaliteye sahip melezler oluşturmuş; özellikle UOP-82 × MOP-204 melezi, heterosis etkisiyle öne çıkmıştır.

Yazıcı ve Yılmaz (2020), morfin ve diğer alkaloid içerikleri açısından en uygun hibritleri belirlemek amacıyla, 9 çeşitlilikten türetilen 36 hibriti değerlendirmiştir. Deney, 2016 ve 2017 yıllarında, rastgele blok deseninde ve dört tekrarda gerçekleştirilmiştir. Orta ebeveyn değerlerine göre heterosis; morfin için -% 4.91 ile %65.43, thebain için -% 76.91 ile % 278.05, noskapin için -% 68.97 ile % 180.91, kodein için -% 53.60 ile % 150.45, oripavin için -% 93.55 ile % 289.61 ve papaverin için -% 78.69 ile % 285.94 arasında değişmiştir. Çalışmada 34 melez morfin, 24'ü thebain, 23'ü noskapin, 26'sı kodein, 22'si oripavin ve 15'i papaverin içeriği açısından pozitif heterosis göstermiştir.

Bu farklılıklar, yani alkaloid içerikleri açısından hibritler arasında gözlenen heterosis değerlerinin geniş varyasyonu, hibritlerin genetik yapılarındaki çeşitliliğe dayanmaktadır. Başarılı bir ıslah programının temelinde, yeterli genetik varyasyonun bulunması gerekmektedir. Bu sayede, hedeflenen özelliklere sahip yeni çeşitlerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin, Avrupa'da tohum verimi, Hindistan'da ise afyon ve morfin içeriği, ıslah çalışmalarında öncelikli hedefler arasında yer almaktadır.

4.2. Heterosis ve heterobeltiosis hesaplanması

Bitki ıslahında melezleme çalışmalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla heterosis ve heterobeltiosis kavramları sıklıkla kullanılmaktadır. Heterosis, F₁ melezlerinin, ebeveyn ortalamasına göre gösterdiği üstünlük derecesini ifade ederken; heterobeltiosis, F₁ melezinin en iyi ebeveyne göre üstünlüğünü ortaya koyar. Her iki parametre de, ıslah materyalinin potansiyelini belirlemek açısından önemli genetik göstergelerdir.

Heterosis oranı, genellikle F₁ melezlerinin ebeveyn ortalamasına ([AO = (Anaç 1 + Anaç 2)/2]) göre yüzde olarak hesaplanır ve Eşitlik 1'deki formülle ifade edilir:

$$\text{Heterosis (\%)} = [(F_1 - AO) / AO] \times 100 \quad (1)$$

Benzer şekilde, heterobeltiosis, F₁ melezinin üstün ebeveyne (ÜA) göre farkını yansıtır ve Eşitlik 2'deki gibi hesaplanır:

$$\text{Heterobeltiosis (\%)} = [(F_1 - \text{ÜA})/\text{ÜA}] \times 100 \quad (2)$$

Bu hesaplamalar sayesinde, farklı genetik kombinasyonların hangi özellikler bakımından olumlu heterotik etki yarattığı belirlenebilir. Literatürde Güler (1977), Kaymak (1980) ve Gümüşçü (2002) gibi araştırmacılar bu formülleri çeşitli bitki türlerinde başarıyla uygulamıştır. Derlemeye konu olan çalışmalarda da, alkaloid içeriği gibi önemli agronomik özellikler bakımından heterosis ve heterobeltiosis değerlerinin analiz edildiği görülmektedir.

5. Sonuçlar

Haşhaş (*P. somniferum*), sahip olduğu alkaloid içeriği ve yağ kompozisyonu sayesinde hem tarımsal hem de endüstriyel açıdan stratejik öneme sahip bir bitkidir. Bu çalışmada ele alınan bulgular, genetik farklılığa dayalı olarak yapılan melezlemelerin, özellikle morfin, tebain, noskapin, kodein, oripavin ve papaverin gibi alkaloid bileşenleri açısından önemli düzeyde heterosis etkisi yaratabildiğini göstermektedir. Farklı ebeveyn kombinasyonlarından elde edilen F₁ melezlerinde gözlenen yüksek pozitif heterosis değerleri, ıslah çalışmalarında bu yöntemin potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Melez bireylerde elde edilen geniş varyasyon aralığı, haşhaş genotipleri arasında genetik çeşitliliğin yeterli düzeyde olduğunu ve bu çeşitliliğin etkin kullanımıyla hedeflenen özelliklerde önemli iyileştirmeler sağlanabileceğini göstermektedir. Özellikle morfin içeriği bakımından elde edilen yüksek heterosis oranları, eczacılık endüstrisine yönelik yüksek kaliteli hammadde üretimi açısından büyük bir avantaj sunmaktadır. Benzer şekilde, diğer alkaloidlerin ve tohum verimi gibi agronomik özelliklerin iyileştirilmesinde de hibritizasyonun etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Derlenen bilgiler ışığında, haşhaş ıslahında melez gücünden yararlanmanın hem verim hem de kalite kriterleri bakımından somut kazanımlar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, farklı genetik yapıya sahip ebeveyn hatlarının bilinçli şekilde seçilmesi ve heterotik kombinasyonlara dayalı melezleme stratejilerinin uygulanması, gelecekteki ıslah programları için temel bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerekmediğini beyan etmektedir.

Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar; makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Brunet, J., Flick, A.J., Bauer, A., 2021. Phenotypic selection on flower color and floral display size by three bee species. *Frontiers in Plant Science*, 11: 587528.
- Dubey, R.B., Jain, S.K., Maloo, S.R., 2007. Combining ability and heterosis for latex yield, seed yield and other agronomic traits in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 67(4): 392-395.
- Güler, E., 1977. Heterosis among selfed lines in some sunflower varieties. PhD Thesis, Ankara University, Institute of Science, Ankara.
- Gümüşçü, A., 2002. Studies on heterosis in yield and some traits of hybrids of selected *P. somniferum* lines. PhD Thesis, Ankara University, Institute of Science, Ankara.
- Gümüşçü, A., Arslan, N., 2008. Bazı haşhaş (*Papaver somniferum* L.) melez hatlarının verim ve verim öğelerinde heterosis üzerine araştırmalar. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(4): 365-373.
- Hong, U.V., Tamiru-Oli, M., Hurgobin, B., Okey, C.R., Abreu, A., Lewsey, M.G., 2021. Insights into opium poppy (*Papaver* spp.) genetic diversity from genotyping-by-sequencing analysis. *Scientific Reports*, 11: 22579.
- Hrishi, N.J., 1960. Cytological studies of *Papaver somniferum* and *P. setigerum* and their hybrids. *Genetica*, 31: 1-30.
- Hrishi, N., Hrishi, K., 2005. Studies on the correlation between male sterility and flower colour in the F₂ of an interspecific cross between *Papaver setigerum* and *P. somniferum*. *Genetica*, 45(1): 91-95.
- Jonsson, B., Jonsson, R., 1986. Breeding of poppy (*Papaver somniferum* L.). *Sveriges Utsadesforenings Tidskrift*, 96(3): 243-249.
- Kahraman-Yanardağ, Y., Day, S., Bayraktar, N., Özgen, Y., 2024. Evaluation of agronomic and oil characteristics of selected Turkish poppy genotypes under Ankara's climate conditions. *Agronomy*, 14(5): 957.
- Kaya, S., 2024. Türk kültüründe haşhaş (afyon bitkisi) kullanımı (11-14. Yüzyıl Anadolu'sunda). *Türk*

- Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi*, 109: 115-138.
- Kaymak, F., 1980. Diallel Melezleme Sisteminde Genel ve Özel Uyuşma Yeteneğinin Hesaplanması. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Nazilli Bölge Pamuk Araştırma Enstitüsü.
- Khatik, C.L., Sharma, S.P., Dodiya, N.S., Maloo, S.R., Joshi, A., Jain, H.K., Padiwal, N., 2016. Heterosis for latex yield and its attributes in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 38(1): 1-6.
- Khatik, C.L., Sharma, S., Dodiya, N.S., Maloo, S., Joshi, A., Jain, H., Padiwal, N., 2017. Estimate of heterosis for latex yield and its related traits in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8(2): 1063-1067.
- Krüger, A.P., Ferreira, M.S., Martins, L.N., Teixeira, C.M., Schlesener, D.C., Deprá, M., Garcia, F., 2021. Impact of gamma radiation dose on sterility and quality parameters of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(1): e20190249.
- Lal, R.K., Chanotiya, C., Gupta, P., 2020. Induced mutation breeding for qualitative and quantitative traits and varietal development in medicinal and aromatic crops at CSIR-CIMAP, Lucknow (India): Past and recent accomplishments. *International Journal of Radiation Biology*, 96(11): 1489-1497.
- Lattoo, S.K., Khan, S., Dhar, A.K., Choudhary, D., Gupta, K.K., Sharma, P.R., 2006. Genetics and mechanism of induced male sterility in *Andrographis paniculata* (Burm. f.) nees and its significance. *Current Science*, 91(3): 272-276.
- Liu, J., Li, M., Zhang, Q., Wei, X., Huang, X., 2020. Exploring the molecular basis of heterosis for plant breeding. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(3): 287-298.
- Martínez-Harms, J., Hadar, R., Márquez, N., Menzel, R., Shmida, A., Stavenga, D., Vorobyev, M., 2020. Enhanced UV-reflection facilitated a shift in the pollination system of the red poppy, *Papaver rhoeas* (Papaveraceae). *Plants*, 9(8): 927.
- Masihuddin, M., Jafri, M., Siddiqui, A., Chaudhary, S., 2018. Traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities of *Papaver somniferum* with special reference to Unani medicine: An updated review. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 8(5-S): 2069.
- Matyasova, E., Novák, J., Stranska, I., Hejtmánková, A., Skalický, M., Hejtmánková, K., Hejtnak, V., 2018. Production of morphine and variability of significant characters of *Papaver somniferum* L. *Plant Soil and Environment*, 64(10): 453-459.
- Meena, N.S., Dadheech, A., Sharma, H., Singh, V., Choudhary, J., Momin, S., 2024. Elucidating heterosis in opium poppy (*Papaver somniferum* L.) for seed yield and its component traits. *International Journal of Research in Agronomy*, 7(7): 1144.
- Miller, J., Henning, L., Heazlewood, V.J., Larkin, P., Chitty, J., Allen, R., Brown, P., Gerlach, W., Fist, A.J., 2005. Pollination biology of oilseed poppy, *Papaver somniferum* L. *Crop & Pasture Science*, 56(6): 475-481.
- Naseem, S., Kumar, G., 2013. Induced desynaptic variation in poppy (*Papaver somniferum* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13(4): 295-300.
- Rahevar, P.M., Chauhan, R.M., Patel, P.T., Patel, M.P., Bhadauria, H.S., Solanki, S.D., Viradiya, Y.A., Gami, R.A., Vaghela, S.J., 2024. Isolation and evaluation of novel male sterile and self-incompatible mutant lines of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plant Breeding*, 143(5): 666-674.
- Rajan, N., Debnath, S., Perveen, K., Khan, F., Pandey, B., Srivastava, A., Khanam, M.N., Subramaniyan, V., Kumarasamy, V., Paul, P., Lal, M., 2023. Optimizing hybrid vigor: A comprehensive analysis of genetic distance and heterosis in eggplant landraces. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1238870.
- Ray, T., Pandey, S., Pandey, A., Srivastava, M., Shanker, K., Kalra, A., 2019. Endophytic consortium with diverse gene-regulating capabilities of benzyloquinoline alkaloids biosynthetic pathway can enhance endogenous morphine biosynthesis in *Papaver somniferum*. *Frontiers in Microbiology*, 10: 925.
- Shah, H.A., Khan, S., Ahmed, M.M., 2025. Unravelling the medicinal secrets of Khashkhaash (*Papaver somniferum* L.) seeds: A powerful blend of Unani wisdom and modern science. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 15(1): 6957.
- Singh, N., Singh, A., Singh, V., Lal, R.K., Kumar, V., 2021. Estimation of heterosis and pattern of inheritance for elite economic yield traits in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Journal of Medicinal Plants Studies*, 9(2B): 1255.
- Singh, U.P., Khanna, K.R., 1970. Male sterility in opium poppy. *Science and Culture*, 36: 554-556.
- Temesgen, B., 2021. Combining ability and heterosis in plant improvement. *Open Journal of Plant Science*, 6(1): 14-20.
- Trunschke, J., Lunau, K., Pyke, G., Ren, Z., Wang, H., 2021. Flower color evolution and the evidence of pollinator-mediated selection. *Frontiers in Plant Science*, 12: 617851.
- Valizadeh, N., Arslan, N., Khawar, K.M., 2017. Heterosis and heterobeltiosis studies on yield and yield components of some Turkish poppy hybrids (*Papaver somniferum* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6: 41-51.
- Wang, Y., Liu, D., Tian, Y., Wu, S., An, X., Dong, Z., Zhang, S., Bao, J., Li, Z., Li, J., Wan, X., 2019. Map-based cloning, phylogenetic, and microsynteny analyses of ZmMs20 gene regulating male fertility in maize. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6): 1411.

- Yazıcı, L., Yılmaz, G., 2020. Hybrid vigor for alkaloid contents in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Agricultural Science Digest*, 40(1): 35-39.
- Zandi, P., Majidi, M.M., Alizadeh, H., Mirlohi, A., 2020. Genetic diversity and population structure of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) based on agromorphological traits and molecular markers. *Industrial Crops and Products*, 147: 112225.

ALINTI: Valizadeh, N., Ağamirzaoğlu, M., 2025. Haşhaş (*Papaver somniferum* L.)'ta Heterosis. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 12(2): 215-223.

CITATION: Valizadeh, N., Ağamirzaoğlu, M., 2025. Heterosis in Poppy (*Papaver somniferum* L.). *Turkish Journal of Agricultural Research*, 12(2): 215-223. (In Turkish).