

ARI ISLAHI

GENETİK YAPI VE ISLAH

1. Bal Arısı (*Apis mellifera* L.) Sitolojisi ve Genetik Yapı

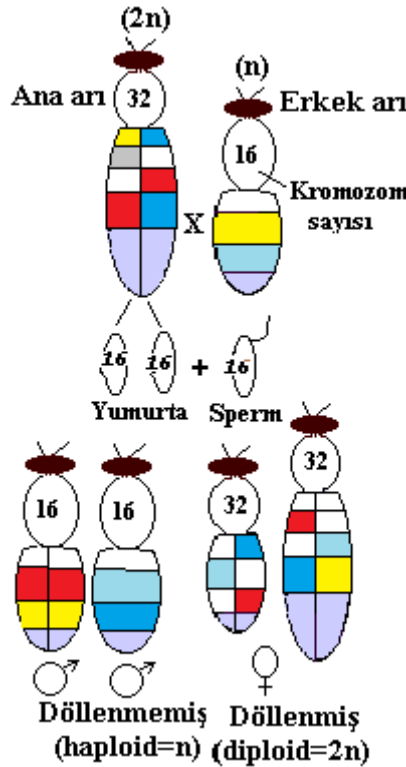
Canlılar sahip oldukları kalıcı nitelikteki davranış, fizyolojik, morfolojik, üreme ve verim gibi tüm özelliklerini yavrularına hücre çekirdeğindeki kromozomlar aracılığıyla aktarırlar. Bu yapının ebeveyninden yavruya aktarımı ise cinsiyet hücreleri aracılığıyla gerçekleşir. Her karakter için belirleyici olan kromozomlar üzerinde lokus adı verilen yerlerde bulunan genler ve bunların özellikleridir. Vücut doku ve organlarının şekillenmeleri ve fonksiyonları ile bireysel tüm davranışlar bu genler tarafından kontrol edilir. Canlı her türlü değişim ve güçlüğü sahip olduğu bu kalıtsal yapı bir diğer deyişimle şifre yardımıyla yaşar ve aşar. Genler, esas anlamıyla kalıtsallığın belirleyicisi ve aracısıdır. Her bir lokus, bir çift gen tarafından tanımlanır ve bu genlere allel gen adı verilir. Yavru, bu allel genlerden birisini ana diğerini ise baba ebeveyninden alır. Anne ve babadan gelen allel genler aynı yapıda ise canlı o genlerin oluşturduğu karakter bakımından homozigot, şayet genler farklı yapıda iseler heterozigot olarak tanımlanır. Allel genlerin heterozigot olması durumunda bu genlerden etkisi daha baskın olanına veya etkisini gösterene dominant, etkisini gösteremeyene yani çekinik olana ise resesif gen adı verilir.

1.1. Bal Arılarında Vücut (Somatik) Kromozom Yapısı

Bal arıları, haploid yapıdaki iki gamet hücresinin birleşmesi sonucu meydana gelen diploid canlılardır. Arı ailesini oluşturan tüm bireylerin vücut hücreleri iki ($2n=N$) kromozom seti (genom) ihtiva eder. Ailede dişi fenotip'i temsil eden ana ve işçi arılar döllenmiş yumurta hücresinden meydana gelir ve vücut hücreleri diploid ($2n=32$) yapıdadır (Şekil 114). Somatik hücreyi meydana getiren her kromozom çiftini oluşturan sarmalın birisi ana arının anasından diğeri ise babasından gelir. Her bir cinsiyet hücresi (sperm ve yumurta) 16 kromozom ihtiva eder. Kromozom sarmalının tesadüfi olarak ikiye bölünüp gamet hücrelerine (yumurta ve sperm) dönüşmesi olarak ifade edilen segregasyon diğeri hayvan türlerinin çoğunda yumurtalık ve testislerde gerçekleşir. Oysa arılarda segregasyon sadece ana arının ovaryumunda gerçekleşir. Böylece bal arılarında bütün yeni gametler (yumurta ve sperm) orijinlerini ana arıdan alırlar. Yumurta hücresinin döllenmesiyle meydana gelen zigotta kromozom sayısı $2n$ ve dolayısıyla 32'ye çıkar. Ana arının ovaryollerinde oogenesiz esnasında mayoz bölünme sonucunda haploid (n) yapıda gamet, yani yumurta hücresi oluşur. Cinsiyet hücrelerinin haploid yapı kazanmaları mayoz olarak tanımlanan hücre bölünmesiyle gerçekleşir. Erkek bireylerde somatik hücreler diploid ($2n=32$), testislerindeki spermatogonyum hücreler ise haploid yapıdadır ($n=16$) (Şekil 114). Türlerde kromozom sayılarının sabit kalması bu mekanizma sayesinde sağlanır. Ancak erkek arılar döllenmemiş yumurta hücresinden meydana gelirler.

Bal arılarında genetik yapının döllere geçişinde diğeri türlere göre en önemli farklılık diploid yapıdaki dişi birey gametlere kromozom sayılarının tesadüfi bir yarısını aktarıırken, erkek bireyin gametlere kromozom yapılarını olduğu gibi aktarmalarıdır. Bu oluşumda testislerin generatif dokusunda mayoz bölünme, yani kromozom yarılanması (segregasyon) meydana gelmez. Bunun sebebi, ilkel yapıdaki spermatogonyum hücrelerinin haploid yapıda olmalarıdır. Döllenmemiş yumurta hücresinden meydana gelen erkek arıların vücut hücreleri diploid ($2n$) yapıdadır. Erkek

arıdaki bu diploid yapı, dişi bireyde olduğu gibi döllenme sonucu iki haploid hücrenin birleşmesiyle oluşan bir yapı değildir. Bu yapı embriyonik gelişimin bir aşamasında meydana gelen kopyalama sonucu gerçekleşmektedir. Dolayısıyla erkek arıların vücut hücrelerindeki her iki genomun ve aynı zamanda testislerde oluşan tüm spermatozoitlerin kromozom ve gen yapıları bakımından tek tip oluşun sebebi hymenopteralara özgü ve parthenogenesis adı verilen bir oluşumun sonucudur. Bu oluşum aslında, mayoz hücre bölünmesinin farklı seyretmesiyle gerçekleşir. Hücre bölünmesi sırasında önce eksik mayoz-I ve daha sonra kromozomların eşit olarak ikiye bölünmesiyle sayılarının yarıya indiği mayoz-II'nin çekirdeksiz sitoplazmik retikulum meydana getirmesiyle gerçekleşir. Böylece erkek gametlerinde kromozom sayıları aynen korunmuş olur. Her bir erkek arının sperm hücrelerinin tamamında genetik yapı aynıdır ve bunlar ana arının lokuslarındaki allel genlerden birisinin temsilcisidir. Her sperm hücresinde babanın kromozom yapısı aynen devam etmektedir.



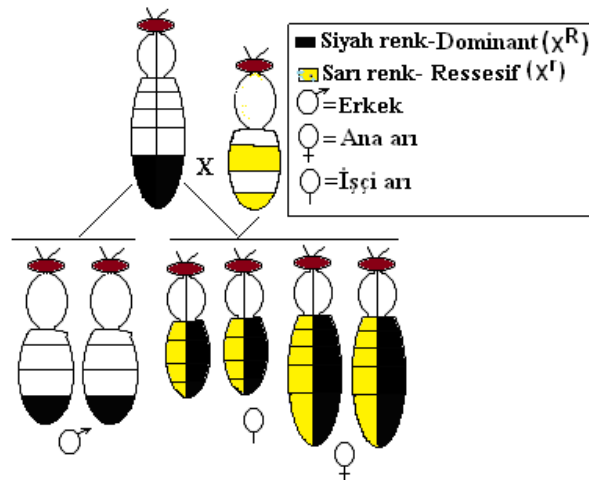
Şekil 114. Bal arılar (*Apis mellifera* L.)'nda kromozom yapısı, gamet üretimi ve zigot oluşumu.

Yumurta hücresi oluşurken (oogenesiz), düzenlenmiş 16 kromozoma sahiptir. Ana arı heterozigot yapıda olması sebebiyle ürettiği yumurtalarda somatik kromozomların tümü anadan gelebileceği gibi tümü babadan da gelebilir veya ana ve babanın karışımından da oluşabilir. Kromozomlar üzerindeki genler, genelde bir tek birim halindedir ve bu yapıları ile yeni hücrelere taşınırlar. Bununla beraber kromozom çiftleri sıklıkla yer değiştirirler. Bu nedenle yumurta hücresi sahip olduğu kromozomların bir kısmını ana, bir kısmını da babadan alır. Krossingover olarak tanımlanan bu yapı sayesinde çok sayıda genotipik kombinasyon oluşur. Döllenmeden sonra genlerin yavru hücrelerde birleşerek yeni kombinasyonlar meydana getirmesi rekombinasyon olarak tanımlanır. Kolonideki bireyler arasındaki varyasyonun en büyük sebebi bu oluşumdur. Bir lokusta çok sayıda gen bulunabilir. Lokustaki bu genler benzer olabildikleri gibi, bunların etkileri de birbirine benzeyebilir veya başka bir bireyde de benzer etkiyi gösterebilirler. Bir gen değişebildiği gibi etkisi de değişebilir.

1.1.1. Genotip Oluşumu

Genotip oluşum bir örnek ile anlatılır ise sanırım konu daha iyi anlaşılacaktır. Örneğin, bal arılarında vücut yüzeyini örten kitin tabakasının doğal rengi siyah (X^R)'tır. Ancak bu kitin tabakasının rengi sarı (cordovan) (X^r) ve daha değişik tonlarda da olabilmektedir. Arılar genelde bu iki renge ve bunların farklı tonlarına sahiptirler. Siyah kitin rengi (X^R)'ni determine eden allel genlerde tesadüfî çiftleşmeler sonucu meydana gelen değişim incelendiğinde, farklı renk tonlarında bireyler veya fenotiplerin oluştuğu kolayca görülecektir. Arıda normal kitin rengi siyah (X^R)'tır ve bu renk resesif etkili olan sarı kitin rengine (X^r) dominanttır. Bu dominant gen (X^R) resesif (X^r) genin etkisini baskılamaktadır. Dişi birey bir kromozom çiftine sahip olduğundan lokuslarında bu allel genlerden herhangi ikisini birlikte bulundurur. Bunlar; $X^R X^R$, $X^R X^r$ ve $X^r X^r$ genotiplerinden herhangi birisi şeklinde bulunurlar. Burada X^R geni alleli olan X^r genine dominant olduğundan $X^R X^R$ ve $X^R X^r$ genotipli bireyler vücut rengi yönünden siyah ve $X^r X^r$ genotipli bireyler ise sarı renkli olacaklardır (Şekil 115). Cordovan olarak tanımlanan resesif yapıdaki sarı kitin renginden ıslah çalışmalarında önemli düzeyde yararlanılmaktadır.

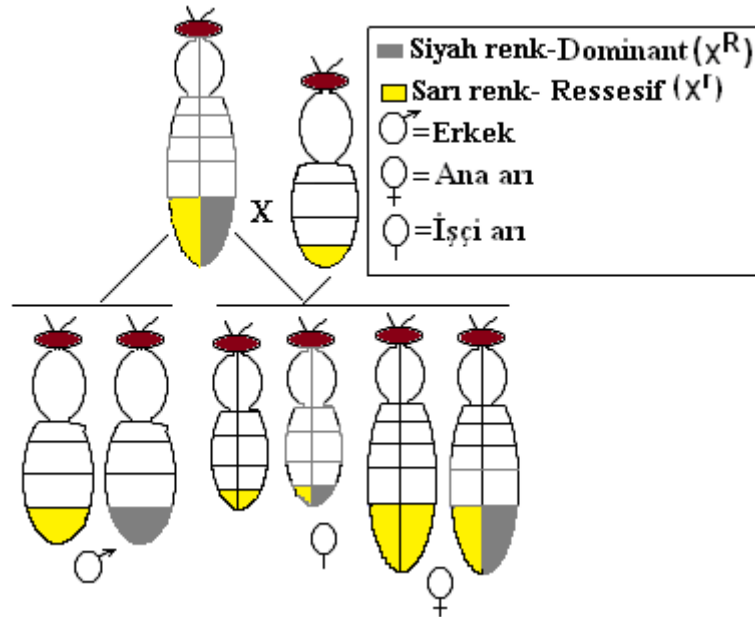
Dişide, vücut kitin tabakası renginin kalıtsallığını belirleyici genler heterozigot ve homozigot olmak üzere iki şekilde, erkekte ise tek yönlüdür. Her dişi anasından ya X^R genini veya X^r genini alır. Diğer tarafta baba haploid olduğundan ya X^R veya X^r genotiplerinden birisine sahiptir ve ikisinden birisini tesadüfî olarak alır. Erkek arıda vücut kitin rengi kalıtsallığı tek yönlüdür. Babası olmadığı için sadece anasından tesadüfî olarak ya X^R genini veya X^r genini alır. Erkek arı eğer X^R genini alır ise vücut siyah kitin renginde, şayet X^r genini alır ise sarı kitin renkli olacaktır. Erkekler bu iki rengi eşit şansla ve tesadüfî olarak alırlar. Eğer ana arının vücut kitin rengini belirleyici lokusta genler benzer iseler homozigot olarak nitelenirler. Diğer tarafta erkek arı haploit yapıda olduğundan homozigot veya heterozigot tanımlamadan söz edilemez. Örneğin vücut kitin rengi lokusu homozigot ve siyah kitinli ($X^R X^R$) olan bir ana arı ile vücut kitin rengi sarı (X^r) olan bir erkek arının çiftleştiği [$(X^R X^R) \times (X^r)$] varsayılır ise; gen lokusu homozigot yapıda olduğundan ana arı yumurtalarının tümü X^R genini, erkek arının bütün spermleri ise X^r genini taşıdıkları için meydana gelen bütün yavrular $X^R X^r$ genotipik yapıda ve heterozigot olurlar. X^R dominant olduğundan bütün dişiler vücut renk fenotipi yönünden siyah kitinli olacaklardır (Şekil 115).



Şekil 115. Allel gen yapısına bağlı dominant ve resesif fenotip oluşumu.

Şayet bu ana arının vücut kitin rengi lokusunda heterozigot ($X^R X^r$) yapıda olduğu ve bunun yine sarı vücut kitin renkli bir (X^r) erkek arı ile çiftleştiği [$(X^R X^r) \times (X^r)$] varsayılır ise; bu çiftleşmeden meydana gelen dişilerin $\frac{1}{2}$ 'si heterozigot ($X^R X^r$) siyah kitinli, diğer $\frac{1}{2}$ si ise homozigot ($X^r X^r$) sarı (Cordovan) kitin renkli olacaktırlar. Heterozigot yapıda olan bu ana arı ayrıca $\frac{1}{2}$ oranında siyah (X^R) ve $\frac{1}{2}$ oranında da sarı (X^r) kitin renkli erkek arı meydana getirecektir (Şekil 115). Buradaki heterozigot yapı aynı zamanda fenotipik olarak genotip sayısını da belirlemektedir.

Burada vücut rengi sadece bir allel gen çifti yönünden değerlendirilmiştir. Bu genlerden de birisi dominant diğeri resesif özelliğindedir. Bu özelliğe yani sadece iki allelli bir gen çifti tarafından belirleyici olan çok az sayıda karakter bulunur. Heterozigot yapıdaki genler arasında, interaksiyon söz konusu olabileceği gibi, bir karakteri birçok lokustaki çok sayıda gen çifti de etkileyebilir. Bu genler arasında interaksiyonlar da dikkate alındığında ne kadar çok sayıda genotipik kombinasyon meydana gelebileceği her halde tahmin edilebilmektedir. Örneğin, abdomen kitin rengi en az 7 ayrı lokusta bulunan genler tarafından determine edilmektedir. Bu kadar gen çiftinin etkisi ile fenotipik olarak oluşacak genotipik kombinasyon sayısı ise $2187 (3^7 = 3^7)$ olacaktır. Böylece abdomen renginde seri halde çok sayıda farklı renk tonunun meydana gelmesi mümkün olabilecektir. Bu nedenle bu tür karakterler sürekli varyasyon gösteren karakterler olarak tanımlanırlar. Bunun tam tersi çok az sayıda gen tarafından determine edilen karakterler ise kesikli varyasyon gösteren karakterlerdir. Bal arılarında bal verimi, kuluçka üretim etkinliği, canlı ağırlık ve ömür uzunluğu gibi ekonomik önemi bulunan karakterler genelde sürekli varyasyon gösterirler. Çünkü bu karakterler çok sayıda gen çifti tarafından oluşturulurlar.



Şekil 116. Allel gen yapısına bağlı dominant ve resesif fenotip oluşumu.

1.2. Cinsiyet Kromozomu ve Cinsiyet Oluşumu

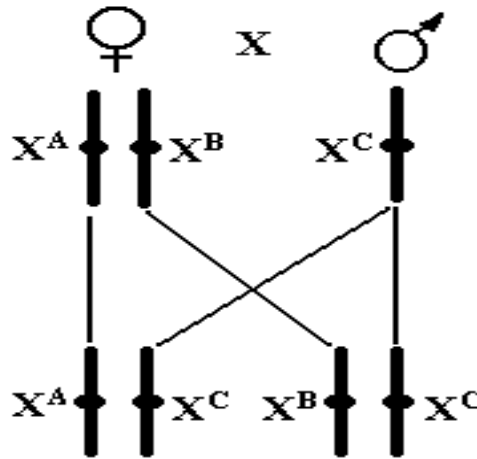
Cinsiyet, yumurta ve sperm hücresi ile temsil edilir. Her yumurta hücresi, bir çekirdek, bu çekirdekte kromozom ve kromozom üzerinde bulunan bir gen seti ihtiva eder. Sperm hücresi de benzer şekilde üzerinde gen setlerinin yer aldığı bir kromozoma sahip çekirdekten oluşur. Döllenme ile sperm hücresi yumurta hücresinin içerisine girer ve sperm çekirdeği yumurtanın çekirdeği ile birleşir. Böylece döllenmiş yumurta çekirdeği, iki kromozom ve üzerlerinde kalıtsallığın belirleyicisi

durumunda olan gen setlerini ihtiva eder. Döllenmeden sonra yumurta hücresi önce ikiye bölünür ve daha sonra oluşan yavru hücreler yeniden bölünürler. Bu hücre bölünme işlemi, milyonlarca hücreden oluşan ergin birey oluşuncaya dek tekrarlanarak devam eder. Her hücre bölündüğünde her gen kendi eşini oluşturur ve her bir kromozom uzunlamasına benzer iki eşit kısma ayrılır.

Hymenopteralarda cinsiyet oluşumu, yumurta hücresinin döllenip döllenmemesiyle ilgili bir durumdur. Her ne kadar erkek bireylerin partenogenetik olarak meydana geldikleri biliniyor ise de, bal arılarında cinsiyet oluşumu aslında oldukça karmaşık bir yapı gösterir. Genetik biliminin temel kurallarını belirleyen Mendel, bal arılarında cinsiyet oluşumu ve buna bağlı oluşan genetik yapıyı o günkü koşullarda tam anlamıyla izah edememiştir. Bilinen dişi ve erkek cinsiyet yapısı arılarda 3 ayrı fenotip olarak ortaya çıkar. Bunlar, dişiliğin temsilcisi durumundaki ana ve işçi arılar ile babanın temsilcisi durumundaki erkek bireylerdir.

1.2.1. Cinsiyet Lokusundaki Allel Gen Yapısına Bağlı Cinsiyet Oluşumu

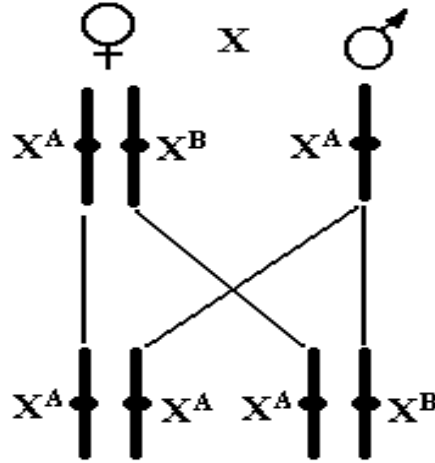
Cinsiyet lokusundaki allel gen yapısına bağlı cinsiyet oluşumu bilinen en güvenilir teoridir. Cinsiyet lokusunda çoklu allel genin bulunduğuna ilişkin teori, cinsiyet lokusunda homozigot diploid döllenmiş yumurta hücresinden erkek birey meydana gelmesi ile ispatlanmıştır. Bu hipoteze göre, cinsiyet lokusunda (X) birçok allel (X^a , X^b , X^c , X^d , X^e , X^f v.b.) gen bulunur. Genelde dişi döllenmiş heterozigot yapıda cinsiyet hücresinden, erkek ise döllenmemiş yumurta hücresinden meydana gelir. Şekil 117’de görüldüğü üzere, cinsiyet lokusu tektir ve dişiler her lokusta bir çift, erkekler ise tek gene sahiptir. Cinsiyet lokusu $X^A X^B$ genotipik yapıda olan bir ana arı cinsiyet lokusu X^C genotipik yapıda olan bir erkek arı ile çiftleştiğinde $[(X^A X^B) \times (X^C)]$; ilk önce bu ana arının döllenmemiş yumurtalarından partenogenetik olarak haploid yapıda, $\frac{1}{2}$ oranında X^A ve $\frac{1}{2}$ oranında X^B erkek bireyler meydana gelir. Ana arının döllenmiş yumurtalarından ise heterozigot yapıda ve her biri yine $\frac{1}{2}$ oranında olacak şekilde $X^A X^C$ ve $X^B X^C$ cinsiyet lokuslarına sahip dişi bireyler meydana gelir. Burada oluşan bütün genotipler cinsiyet lokuslarında heterozigot yapıdadırlar. Dolayısıyla bal arısında dişi birey cinsiyet lokusu her zaman heterozigot yapıdadır.



Şekil 117. Dişi cinsiyet oluşumu.

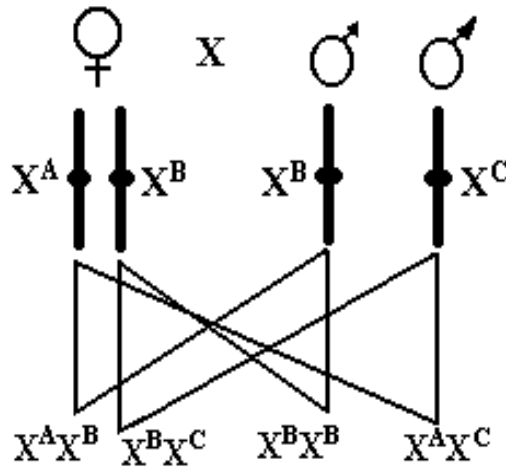
Cinsiyet lokusu $X^A X^B$ genotipinde olan bu ana arı ile cinsiyet lokusu X^A genotipindeki bir erkek arı ile çiftleştiğinde ise, bu ana arının döllenmemiş yumurtalarından yine cinsiyet lokusları X^A ve X^B genotiplerinde olan erkek arılar meydana gelirken, diğer tarafta bu ana arı her birisi $\frac{1}{2}$ oranında olmak

üzere iki farklı fenotipte döllenmiş yumurta üretir. Bunlardan birisi heterozigot yapıdaki $X^A X^B$ genotiplilerdir (Şekil 118). Cinsiyet lokusunda heterozigot yapıda olan bu bireyler dişi olacaklardır. İkinci tip döllenmiş yumurta ise homozigot yapıdaki $X^A X^A$ genotiplilerdir. Döllenmiş homozigot yapıdaki bu yumurta hücresinden ise erkek bireyler meydana gelir. Bu çiftleştirme sonucunda cinsiyet lokusu diploid yapıda olan yavruların yarısı ($1/2$) heterozigot, diğer yarısı ($1/2$) da homozigot yapıda olacaklardır. Diğer bir anlatımla bu ana arının yumurtladığı döllü yumurtaların yarısından dişi birey diğer yarısından ise erkek birey meydana gelecektir. Bu tip cinsiyet oluşumu, cinsiyet lokusunda diploid genotip oranları bilinen bireyler arası çiftleştirmelerle tespit edilir.



Şekil 118. Cinsiyet lokusu allel gen yapısına bağlı homozigot ve heterozigot diploid birey oluşumu.

Şekil 119'de görüldüğü gibi dişiler cinsiyet lokuslarında (X) diploid heterozigot, erkekler ise homozigottur. Cinsiyet lokusunda $X^A X^B$ genotipli ana arı yine cinsiyet lokuslarında X^B ve X^C allel gen yapısında iki erkek arı ile çiftleştirildiğinde, $1/4$ oranında homozigot diploid erkek ve $3/4$ oranında dişi birey meydana gelir. Bu çiftleşme sonucunda heterozigot genotip yapıda olan $X^A X^B$, $X^B X^C$ ve $X^A X^C$ bireyler dişi ve homozigot genotip yapıda olan $X^B X^B$ bireyler ise erkek olacaklardır. Çiftleşmemiş kız kardeş ana arıların her biri kendi erkek kardeşleriyle çiftleştirilir ise, anaların yarısı döllenmiş yumurta yumurtlar ve bunlardan dişi bireyler meydana gelir. Ana arıların diğer yarısı da döllü yumurta yumurtlar, ancak bunların yarısından dişi ve diğer yarısından da diploid erkek arılar meydana gelir.



Şekil 119. Ana arının cinsiyet lokusu farklı genotipte erkek arılarla çiftleşmesi sonucu meydana gelen cinsiyet dağılımı.

Cinsiyet alleli gen sayısı, farklı bal arısı ırklarında ortalama 11–12 olarak belirlenmiştir. Bir populasyonda cinsiyet lokuslarındaki allel gen sayısı ($2n=N$) üretilen ortalama homozigot yumurta oranına (a) bağlıdır. Bu sayı $N= 1/a$ eşitliği ile belirlenir. Böylece populasyondaki cinsiyet alleli gen sayısı bir sayısının üretilen ortalama homozigot yumurtaya oranıdır. Burada, $N=$ allel gen sayısını ve $a=$ homozigot yumurta oranını ifade etmektedir.

1.2.2. Arılarda Cinsiyet Oluşum Şekilleri

1.2.2.1. Döllenmemiş Yumurtadan Dişi Birey Oluşumu

Bal arısında dişi bireyler (işçi ve ana arı) düzenli olarak döllenmiş yumurta hücresinden meydana gelirler. Bu iki birey bazen de döllenmemiş yumurtadan meydana gelebilirler. Bu şekildeki cinsiyet oluşumuna en belirgin Güneybatı Güney Afrika'da bulunan *A m capensis* ırkında rastlanmıştır. Bu arı ırkında koloni anasız kaldığında, işçi arıların yumurtladıkları döllenmemiş yumurtalardan dişi bireyler meydana gelir. Bu konu Mackensen ve Rinderer (1986) tarafından detaylı bir şekilde araştırılmıştır. *A m ligustica*, *A m caucasica*, *A m mellifera* ve diğer arı ırklarında da %1 den daha düşük düzeyde de olsa döllenmemiş yumurtadan dişi birey meydana gelebilir. Uzun süre anasız kalan koloniler döllenmiş yumurta olmamasına rağmen kendilerine ana arı yetiştirirler. Bazı yetiştiriciler bu durumu anasız kalan kolonilerdeki işçi arıların diğer kovanlardan yumurta taşımalarına bağlarlar. Oysaki çok ender de olsa yukarıda anlatıldığı gibi *Apis mellifera* ırklarında döllenmemiş yumurtadan $2n$ kromozomlu dişi birey oluşumu söz konusudur.

1.2.2.2. Diploid Erkek Arı Oluşumu

Diploid erkek oluşumu, daha çok ana arıların cinsiyet lokuslarında benzer genlere sahip erkek arılarla çiftleştirilmesi durumunda meydana gelir. Bu kolonilerde, genelde dolu ve boş şeklinde olmak üzere yavru sahasında düzensizlik görülür. Diploid oluşum, yukarıda da anlatıldığı gibi lokuslarda allel genlerin homozigot yapıda olmaları sonucu meydana gelir ve bunlar larva haline geldikten 3-4 saat sonra işçi arılar tarafından yenirler. Diploid homozigot larvalar özel bir feromon salgılar ve işçi arılar bu feromon sayesinde bunların buldukları gözleri tespit ederler. Homozigot diploid larva işçi arı gözündeki normal bir larvanın yanına yerleştirildiğinde, bu larvanın yine işçi arılar tarafından tespit edildiği ve yenildiği ve hatta buradaki işçi arı larvasının da yenildiği görülmüştür. Diploid erkek arı üretimi ile ilgili yöntemler geliştirilmiştir. Normal erkek arı gözüne yumurtlanmış dölsüz bir yumurtadan meydana gelen erkek arı ile aynı ana arı tarafından işçi arı gözüne yumurtlanmış diploid bir yumurtadan meydana gelen erkek arı fenotipik olarak birbirlerinden farklıdır. Diploid erkek genelde haploid olandan daha ağırdır. Küçük testisleri bulunur, testislerinin hacmi haploid erkek arının onda biri kadardır ve haploid olandan daha kısa ve daha az sayıda testosteron tüpüne sahiptir. Diğer tarafta, Ruttner, (1988) diploid erkek arıların steril olduğunu belirtmektedir. Erkek kız kardeş çiftleşmesi sonucunda yavru ölüm oranı %25 düzeyinde gerçekleşir. Bu çiftleşmeye aynı kaynaktan erkek arılarla, yani erkek kız kardeş çiftleşmesiyle devam edildiğinde ikinci generasyonda yavru ölüm oranı %50 düzeyine çıkar. Bu nedenle saf hat ve yakın akrabalı yetiştiricilik yapılan her arılıkta bu konu önemle takip edilir ve açık yavru göz sahası en az olan koloniler ıslah materyali olarak kullanılır.

Bal arılarında cinsiyetin belirlenmesindeki tek faktör yumurtanın döllenip döllenmemesi değil, cinsiyet lokuslarındaki allel genlerin özelliklerine de bağlıdır.

1.2.2.3. İşçi Arıdan Erkek Arı Anası Olarak Yararlanma

Cinsiyet allelleri bakımından heterozigot yapıda olan her zigot ana ve işçi arı meydana getirebilir. Yumurtlayan bir işçi arı eğer ana arı olmuş olsa aynı genotipte erkek arı üretir. İslah yönünden durum değerlendirildiğinde, bir kolonide yumurtlayan işçi arı daha çok döllenmemiş kız kardeş ana arıların ortaya koydukları yetersiz üreme şekli olarak değerlendirilebilir. İşçi arının yumurtladığı bir kolonideki erkek arıların genetik yapıları, bu koloni ana arısının ve bu ana ile çiftleşen erkeklerin genotiplerine bağlı olarak değişir. Ancak burada görülen genetik varyasyon tek ana arının döllenmemiş yumurtalarından meydana gelen erkek arılardan daha fazladır. Genetik kaynağın korunmasında gerekli olduğunda işçi arıların yumurtlamasından yararlanmak mümkündür.

1.3. Cinsiyet Oluşumunun Genetik ve İslah Açısından Önemi

Arılarda cinsiyet oluşumu ıslah için önemli bir problemdir. Bu yapı aynı zamanda çiftleştirimin kontrollü yapılmasında da önemli engelleri oluşturmaktadır. Cinsiyet, bir lokustaki birçok allel gen tarafından belirlenir. Populasyonda farklı cinsiyet allellerinin bulunması ve ana arının birçok erkek arı ile çiftleşme davranışı göstermesi sonucu cinsiyet allellerinde oluşan yapıya bağlı olarak yavru yaşama oranında büyük değişiklikler meydana gelir. Yavru yaşama gücünde meydana gelen azalma işçi arı popülasyonunun oluşumu için önemli ekonomik kayıptır. Bu durum aynı zamanda ıslah çalışmasında, koloni performanslarını değerlendirmede ve ana arı seleksiyonunda yanılgıya da sebep olabilmektedir. İslah programlarında, populasyondaki cinsiyet allellerinin sebep olacağı bu kayıplar dikkate alınarak yetiştiricilik planlanır ve bu alleller sebebiyle meydana gelecek kayıpların etkileri bertaraf edilir.

1.4. Koloni Yapısı ve Buradaki Cinsiyet Dağılımı

Bal arıları sosyal böceklerdir. Bu sosyal yapıda bir iş bölüşümü mevcuttur. Yetiştirilecek olan her yavrunun her türlü bakım ve beslenmesinden işçi arılar sorumludur. Bunun yanında, generasyonlar üst üste çakıştığından yavrular sürekli şekilde ana ebeveynlerini desteklerler. Böylece bir bal arısı kolonisindeki bireyler, koloni tükenmeden ardışık bir şekilde yenilenirler. Bu yapı sayesinde bir arı kolonisinin ömrü hastalık olmadığı sürece sonsuz olarak kabul edilebilir. Bu sistemde koloniyi oluşturan bireylerin fizyolojik ömür uzunlukları bellidir. Kolonide sürekli ardışık bir katılım söz konusu olduğundan gidenlerin yerleri her zaman düzenli biçimde yenileri tarafından doldurulur.

Normal bir arı kolonisi, bir ana ve onun kızları olan işçi arılardan oluşur. Bu yapısı ile kolonide her zaman iki generasyon birlikte bir arada bulunur. Ayrıca, yavru yetiştirimin yoğun olduğu ve ihtiyaç duyulan dönemlerde erkek bireyler de bulunur. Bu üç birey üremede farklı roller üstlenirler. Bal arısında üreme ile iki önemli işlem gerçekleşir. Birincisi, genler koloni bireylerinin yenilenmesi veya çoğalmasıyla birlikte yeni bireylere taşınır. Bu oluşum, erkek arı çiftleşirken veya yaşlı ana arı yenilenirken gerçekleşir. İkincisi ise oğul vermek suretiyle meydana gelen koloni çoğalmaları sırasında eski ve yeni ana arılar yeni koloniler oluştururlar. Bu durumda genler yeni generasyona hem ana hem de erkek arı aracılığıyla taşınır.

1.4.1. Ana Arı

Ana arı kendi cinsiyetinin mükemmel temsilcisidir. Kolonide üreme etkinliğinde bulunan tek bireydir. Bütün balarısı gamet hücrelerinin genetik yapıları, yumurtanın mayoz bölünme geçirmesi ile şekillenir. Ancak diploid erkeklerdeki spermatogenesis oluşum daha farklıdır. Mayoz bölünme, ana

arının genotipini oluşturan ana ve babasına ait kromozomları ayırarak bunları gametlerde tamamen haploid yapıdaki setlere dönüştüren bir hücre bölünmesi şeklindedir. Mayoz bölünme sonucunda diploid yapıda olan ana arı, genetik yapıca birbirinden farklı birçok gamet hücresi ve farklı yapıda erkek bireyler üretir.

1.4.2. Erkek Arılar

Erkek arı, kendi anasının genomunu meydana getiren büyükanne ve büyükbaba ebeveynleri kromozomlarının karışımı gametlerden meydana gelen haploid cinsiyet kromozoma sahip bireydir. Hibrit ana arılar hibrit erkek arılar üretir. Erkekler, esasında ana arının sahip olduğu gametlerin temsilcisidirler. Ana arının oğlu olarak tanımlanırlar ve baba olarak değerlendirilirler. Erkek arı, gametlerin genotip yapısını değiştirmeden bir tanesinden aynı yapıda 10 milyon adet sperm hücresi üretebilir ve bu sperm hücrelerinin her birisi birer klon niteliğindedirler. Dişi bireyde şekillenmiş olan cinsiyet hücresi erkeğe dönüşür. Erkek arının diğer bir görevi de sperm hücresini çiftleşme yoluyla eşinin üreme sistemine nakletmektir. Bu nedenle, erkekler analarının gametlerini çoğaltan birer aracıdır. Yeniden oluşum söz konusu olduğunda erkek arı genetik yapı yönünden dişi birey yerine görev yapabilir. Bu nedenle arı ıslahında her zaman ana arılar arası çiftleştirmeden yararlanılmaktadır. Herhangi bir kolonideki erkek arıların o kolonideki bireylere baba olmaları söz konusu değildir. Bir kolonideki işçi arıların babaları ile erkek arıların babaları farklıdır. İşçi arıların babaları, o koloni ana arısı ile çiftleşen ve ana arının spermatekasında spermleri depolanan erkeklerdir. Erkek arıların gerçek babaları ise analarının babası, yani dedeleridir. Erkekler bir önceki generasyon ile gelecek generasyon arasında aracı durumundadırlar.

1.4.3. İşçi Arılar

Üreme yetenekleri engellenmiş veya çok azalmış dişi bireylerdir. İşçi arı yumurta yumurtlar ve bu yumurtalar, ana arıda olduğu gibi mayoz hücre bölünmesi geçirir. Mellifera türünün bazı ırklarında işçi arılar yumurta yumurtlar. İşçi arı yumurtalarından genelde erkek arı meydana gelmesine rağmen, yukarıda değinildiği gibi çok ender de olsa bazı ırklarda dişi bireyler de meydana gelebilmektedir.

1.4.4. Altfamilyalar

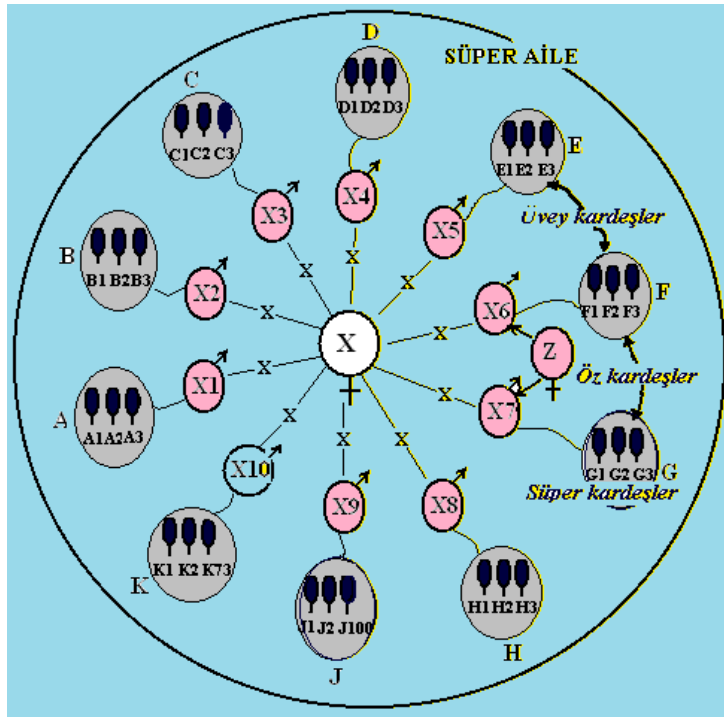
Bir arı kolonisinde ana arı hariç tutulduğunda dişi birey popülasyonu, kolonide çoğu birbiriyle süper kız kardeş olmakla beraber, aralarında farklı düzeyde akrabalık ilişkisi bulunan bireylerin oluşturduğu birçok alt familyadan oluşur. Her bir alt familyaya bir erkek arı babalık yapar. Bir arı ailesini oluşturan alt familya sayısı, ana arının çiftleştiği erkek arı sayısı kadardır. Bu sayı ortalama olarak 15-20 altfamilyaya tekabül eder. Fakat her alt familyanın büyüklüğü, bu familyalara babalık yapan erkek arı sperminin ana arı spermatekasında depolanan miktarına bağlı olarak değişir.

Şekil 120'deki arı kolonisini oluşturan her bir familya, bu familyalardaki işçi arıların birbirleriyle ve familyalar arası akrabalık ilişkileri incelendiğinde 3 farklı yapıda alt familyanın olduğu görülür. Bunlar;

1. A alt familyasındaki işçi arılara X ana arısı analık ve X1 erkeği babalık yapar. Bu alt familyadaki işçi arılar (A1,A2; A3.....), ana bir baba bir ebeveynlerinin dölleridir. Bu alt familyadaki işçi arılar birbirleriyle süper kardeşlerdir. Bu süper kız kardeş ilişkisi aslında diploid canlılarda öz kardeş oluşumuna denk gelmektedir.

2. E ve F alt familyalarındaki işçi arılara X ana arısı analık yaparken, E alt familyasına X_5 erkeği ve F alt familyasına da X_6 erkeği babalık yapmaktadır. E ve F alt familyalarındaki işçi arılar (E_1, E_2, E_3, \dots ve F_1, F_2, F_3, \dots) akrabalık yönünden, ana bir babaları farklı bireylerdir. Bu nedenle tek ortak ebeveyne sahiptirler. Bu iki alt familyadaki işçi arılar birbirleriyle üvey kardeşlerdir. Bu üvey kardeşlerin oluşturdukları popülasyonların her birisi birer üvey kardeş familyası olarak tanımlanır.

3. F ve G alt familyalarındaki işçi arılara X ana arısı analık yaparken, F alt familyasına X_6 ve G alt familyasına da X_7 erkeği babalık yapmaktadır. X_6 ve X_7 erkek arıları bir ana arının (Z ana arısının) döller, yani bu iki erkek kardeşlerdir. Bu nedenle F ve G alt familyalarındaki işçi arılar ana bir babaları kardeş olan bireylerdir. Yani babaları aynı ana arının iki ayrı oğludurlar. Bu nedenle F ve G alt familyalarındaki işçi arılar (F_1, F_2, F_3, \dots ve G_1, G_2, G_3, \dots) birbirleriyle öz kardeşlerdir.



Şekil 120. Arı kolonisi (ailesi), kolonide cinsiyet dağılımı ve buna bağlı oluşan alt familyalar ve akrabalık ilişkisi (Güler, 2006).

Şekil 120’de görüldüğü üzere, bir ana arı (X) ile 8-10 erkek ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$ ve X_{10}) arının babalık yaptığı bu yapısı ile bu arı kolonisi bir süper aile niteliğindedir. Her alt familyanın farklı karakterler göstermesinin sebebi farklı babalara sahip olmalarındandır. Koloninin verim, üreme, davranış ve sahip olduğu her türlü karakter tüm bu alt familya (A, B, C, ...ve K) ve bireylerin ortaya koydukları etkilerin ortak bileşenidir. Normal şartlarda bir ana arının 15-20 erkek arı ile çiftleştiği dikkate alındığında meydana gelen alt familya sayısı da bu düzeyde olacaktır.

1.5. Genetik Yapının Arı İslahında Sağladığı Avantajlar

Yukarıda izah edilmeye çalışılan arı genetik yapısı, arı ıslah çalışmalarında önemli avantajlar sağlar. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1- Bal arılarında kontrollü çiftleştirme ve yapay tohumlama yöntemi sayesinde yüksek verim veya istenilen özelliklerde sahip ana arılar yetiştirmek mümkündür. Bu şekilde ana arı yetiştirmek bir anlamda da ıslah için çok önemli bir kaynak olan erkek arı yetiştirmek anlamına gelir. Çünkü erkek arılar, ana arılarının döllenmemiş yumurtalarından meydana geldikleri için ana arı genomunun

temsilcisidirler. Bölgesel bazı arı populasyonlarının kimi karakterler yönünden iyileştirilmesinde, bu yöntemin tercih edilmesi durumunda hem genetik yapısı yüksek ana arılardan yararlanılır hem de bu ana arıların ürettiği binlerce erkek arı ile mevcut populasyonun gen havuzuna önemli katkıda bulunması sağlanır.

2- Erkek arılar, döllenmemiş haploid yumurta hücresinden meydana geldikleri için genetik yapı yönünden (genom) aynı benzerliktedirler. Bu yapı sebebiyle, erkeklerde dominant ve intermediyer etkiye benzer allel genler arası etki ya da interaksyon söz konusu değildir. Ana arıdan işçi arılara geçen bu tür resesif bir yapı erkek arılara da olduğu gibi yansır. Bu nedenle genetik yapıda resesif nitelikte gen var ise gizli kalması söz konusu değildir.

3- Haploid yapının sağladığı bir diğer avantaj ise döllenmemiş yumurtalarından meydana gelen ergin bir erkek arıdan tek tip genomda yaklaşık 10 milyon spermatozoidin üretilebilir olmasıdır. Bir ana arıdan bir sezonda 10 binlerce erkek arı üretmek mümkündür. Dolayısıyla bu oluşum genetik yapının iyileştirilmesinde önemli avantaj sağlar.

4- Genetik yapı ve cinsiyet oluşumunun sağladığı en önemli avantaj ise, ileri düzeyde akrabalı yetiştiriciliğin uygulanabilir olmasıdır. Bu sayede, hat oluşturulurken homozigotluk daha güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleşir.

5- Kolonilerin verim kontrolleri, davranış ve fizyolojik özelliklerine ilişkin çalışmalar uzun zaman aralığında belirlendiğinden ıslah için bir dezavantaj oluşturur. Bu sebeple diğer evcil hayvanlarda dolaylı seleksiyon yöntemine başvurulur. Oysa bal arısı bu yönden daha avantajlı bir yapıya sahiptir. Bir ana arıdan bir üretim sezonunda birbirleriyle süper kardeş, öz kardeş ve üvey kardeş düzeyinde akrabalık ilişkisi bulunan ve binlerle ifade edilecek sayıda ana ve erkek arı üretmek mümkündür. Bir ana arı 16 günde ergin hale gelir, bundan bir hafta sonra çiftleşir, bir hafta sonra da yumurtlamaya başlar ve yumurtladığı bu yumurtalardan da 21 gün sonra ergin birey oluşur. Böylece bir arıcılık sezonunda ortalama 55–60 gün (yaklaşık 8 hafta) gibi bir sürede ikinci bir generasyonu yetiştirmek mümkündür.

1.6. Genetik Yapının Arı İslahında Yarattığı Dezavantajlar

Yukarıda belirtilen bütün avantajlara karşın bal arılarında genetik yapı ve cinsiyet oluşumunun yarattığı dezavantajlar da vardır. Bunlardan bazıları şunlardır:

1. Ana arının doğal çiftleşme davranışı sebebiyle genetik yapıyı tümüyle kontrol etmek mümkün değildir. Doğal çiftleşme davranışında genetik yapının ancak yarısı kontrol edilebilir.

2. Yine çiftleşme davranışı sebebiyle arı ailesinde akrabalık düzeyi ve ilişkileri farklı olan öz, üvey ve süper kardeş gibi gruplar bulunur. Bu yapı arı ıslahında homozigotluğu artırmada karşılaşılan önemli bir sorundur.

2. Üreme ve Çiftleşme Davranışı

Çiftleştirme, genetik yapının yeniden dağılımını ve devamını sağlaması sebebiyle ıslah ve genetiğin esasını oluşturur. Bu nedenledir ki çiftleştirmenin amaca uygun planlanması ve uygulamaya konulması ıslah için temel kuraldır. Bal arılarında üremenin iki önemli işlevi vardır.

1. Genler, koloni bireylerinin yenilenmesi veya çoğalması sırasında yeni bireylere ve birimlere taşınır. Bu erkek arı çiftleşirken veya yaşlı ana arı yenilenirken gerçekleşir.

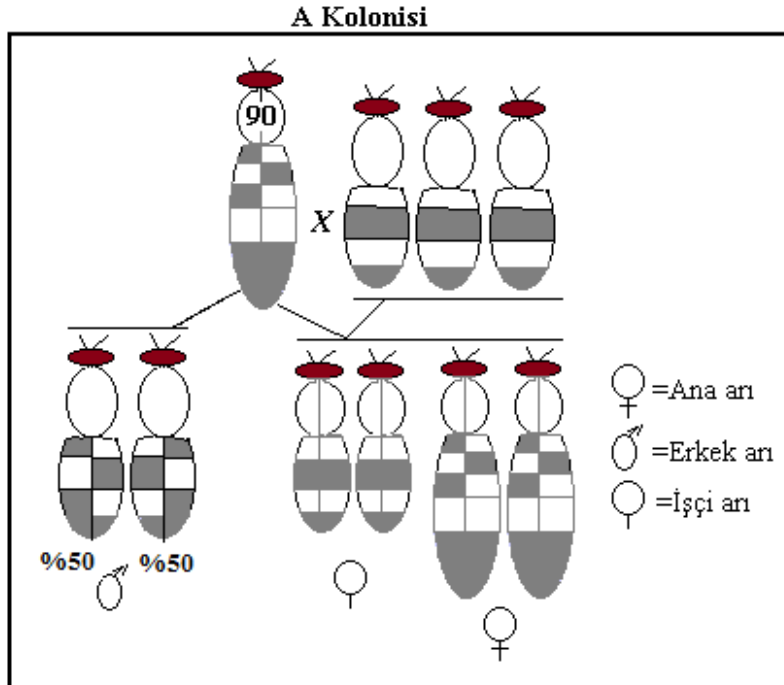
2. Oğul vermek suretiyle meydana gelen koloni çoğalmaları sırasında eski ve yeni ana arılar yeni koloniler oluştururlar. Bu durumda genler yeni bir üreme generasyonuna hem ana hem de erkek arı aracılığıyla aktarılır.

Arı ıslahı için gerekli olan ve ıslahın sonuçlarında belirleyici olan saf ve melez arı üretimi ve kolonideki akrabalık ilişkisinin örneklerle açıklanması konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

2.1. Saf Dişi ve Erkek Arı Üretimi

Her hangi bir koloni (A kolonisi) ana arısının tabi tutulduğu çiftleştirme yöntemi, hem yetiştiricilik hem de ıslah açısından önemlidir. Nitekim test edilecek ana veya işçi arıların saf veya melez olması yanında bireylerin akrabalık düzeyleri bu kolonilerin ortaya koyacakları fenotip üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Arılık içerisindeki herhangi bir koloni olan ve ana arı numarası 90 olan A kolonisini ele alalım. Şekil 121'deki bu koloninin ana arısı kendi soyundan veya ırkından gelen erkek arılarla yapay tohumlama veya izole bölgede çiftleştirildiğinde bu kolonide oluşacak bireyler kendi ırklarının temsilcisi olacaklardır. 90'nolu ana arı ile çiftleşen erkekler, çiftleşmeden sonra ölürler ve onları, çiftleşme sırasında ana arı spermatekasına geçen ve burada depolanan spermatozoitleri temsil eder. Bu ana arının bütün işçi ve erkek arı döpleri genetik yönden benzerdirler ve kendi ırklarını veya soylarını temsil ederler. Bu sistem yetiştiricilik bir anlamda saf yetiştiricilik olarak kabul edilmektedir. Buradaki çiftleştirme, iki ana arı arasında olabildiği gibi bir bölgedeki bir popülasyonu oluşturan birçok ana arı arasında da olabilir. Sadece akrabalık düzeyleri değişir. Bu yetiştirme sistemi ile oluşacak koloni/koloniler morfolojik, fizyolojik ve davranış karakterleri yönünden değerlendirildiklerinde kendi ırk özelliklerini temsil edecekler.



2.2. Melez Dişi ve Saf Erkek Arı Üretimi

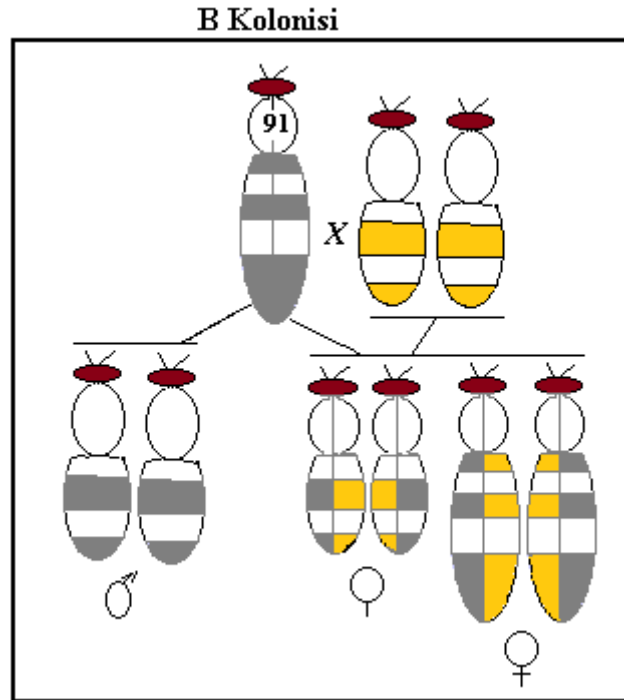
A kolonisinden (90 numaralı ♀) larva transferiyle yetiştirilen ve 91 numara verilerek B kolonisine kazandırılan ana arı, başka bir ırktan erkek arılarla çiftleştirildiğinde oluşacak tüm dişi

bireyler (işçi ve ana arılar) melez olur. Böyle bir kolonideki erkek bireyler ise kendi ana arılarının yani 90 numaralı koloninin genetik yapısının benzeri olacaklardır. Bu yetiştirme sisteminde dişi bireyler döllü yumurtadan meydana geldikleri için genetik yapılarının veya sahip olacakları kromozom setinin yarısını analarından diğer yarısını ise babalarından tesadüfî olarak alacaklardır. Erkek bireyler dölsüz yumurtadan meydana geldikleri için analarının genomunun haploid yapıdaki tek tip kromozom grubunu alırlar (Şekil 122). B kolonisindeki erkek arıların işçi arılarla olan akrabalığı, erkeklerin ana arı ile olan akrabalığı kadardır. B kolonisi ana arısı (91'nolu) A kolonisindeki işçi arılarla öz (tam) kız kardeşidir.

Bu koloniden (91) yetiştirilecek erkek arılar genetik yapı olarak A kolonisini (90) temsil ederler. 91'nolu koloniden saf erkek arı üretimi için 91 numaralı ana arının döllenip döllenmemesi veya yapay ve izole bölgede çiftleştirilmesi önemli değildir. Bu çiftleştirmede B kolonisi ana arısı kendi ırkını saf olarak temsil eder.

B kolonisi (91'nolu) bir ıslah materyali olarak kullanılmak istendiğinde aşağıda belirtilen hususlar yönünden değerlendirmeye alınır. Çünkü ıslah çalışmalarında ana veya işçi arılar melez veya saf olma durumlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmek durumundadır.

- Bu kovandaki erkek arılar fiziksel yönden tanımlanır.
- A kolonisinin (90'nolu) kız kardeşlerine ve ebeveynlerine ait veriler değerlendirilir. Bunların damızlık değeri ve gerçek verim kabiliyetlerine ait değerleri hesaplanır.
- A kolonisi işçi arılarının davranışları, morfolojik ve verim ile ilgili özellikleri tespit edilir.



Şekil 122. Bal arısında melez dişi ve saf erkek arı üretimi.

- B kolonisini oluşturan işçi arı popülasyonu melez olduğu için ıslah değerinden çok ekonomik değeri (tarlacılık, bal yapma, bakıcılık vb) bir anlam ifade eder ve bu yapısı ile değerlendirilir.

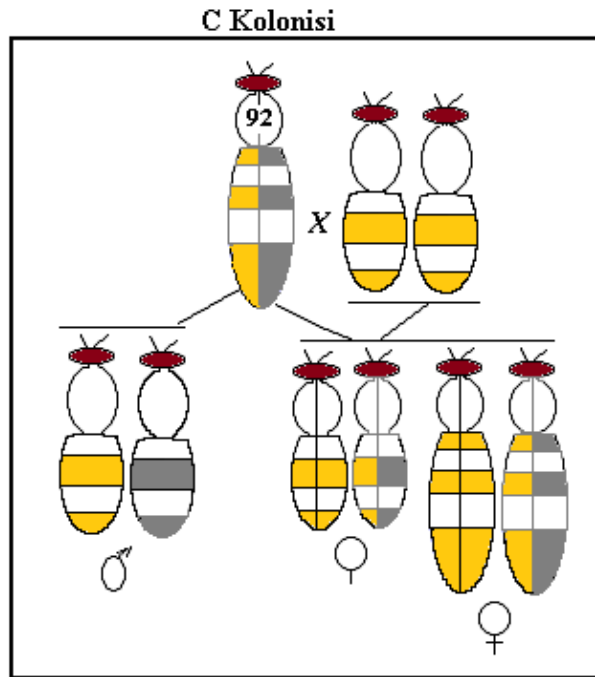
▪ Ayrıca, eğer A kolonisi veya 90 numaralı ana arının damızlık olup olamayacağı belirlenmek isteniliyor ise B kolonisinde olduğu gibi yani 91 numaralı ana arının birçok kız kardeşi aynı koşullarda denemeye alınmalıdır.

▪ Eğer B kolonisi erkek arı (baba) temini amacıyla değerlendirilecek ise bu koloninin davranış ve morfolojik özellikleri bir anlam ifade etmez. Hatta bu koloni işçi arıları hırçın ve hastalıklara karşı duyarlı da olabilirler. Erkek arıların genetik olarak bunlarla bir ilişkisi söz konusu değildir. Burada önemli olan B kolonisine analık yapan 91 numaralı ana arının hangi ana arıdan üretildiğidir.

2.3. Melez Erkek Üretimi

Melez bir ana arı veya bir önceki örnekte verilen B kolonisinin 91 numaralı ana arısının günlük larvalarından yetiştirilecek olan Şekil 123'deki C kolonisinin 92 numaralı ana arısı saf ırk (90 veya 91'nolu ana arının) erkek arılarıyla çiftleştirilir ise meydana gelen dişilerin yarısı (1/2) melez, diğer yarısı (1/2) ise saf olur.

Erkek bireyler ise melez olurlar. Çünkü 92 numaralı ana arı heterozigot diploid yapıdadır. Bu ana arının yumurtladığı döllenmemiş yumurtalarının yarısından X^a ve diğer yarısından ise X^b genotipinde erkek arılar meydana gelir. Şekilde görüldüğü gibi melez erkek arı üretimi böyle bir çiftleştirme sistemiyle mümkündür. Bu erkek arıların gerçek babaları B kolonisinin 91 numaralı anası ile çiftleşen erkek arılar ve gerçek anneleri ise bu erkeklerle çiftleşen nineleridir. Bu çiftleştirmeden yetiştirilecek ana arıların yarısı (1/2) melez, diğer yarısı ise (1/2) saf (baba lehine) olur. Dişiler için bu çiftleştirme sistemi bir anlamda baba lehine geriye melezleme olarak da kabul edilebilir.

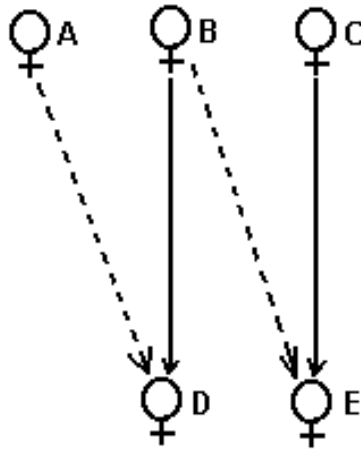


Şekil 123. Bal arısında melez erkek ve dişi üretimi.

2.4. Bal Arılarına Özgü Bazı Çiftleşme Yapıları ve Genetik Sonuçları

Balarısı birçok yönden hermafrodit bitkilerde olduğu gibi kendine uyumsuz bir çiftleşme yapısına sahiptir. Ana arı yumurta üretir. Eğer bu yumurtalar sperm ile döllenir ise dişi gamet hücrelerinden farklı cinsiyet allelleri taşır ve bunlardan dişi bireyler meydana gelir. Şayet yumurta döllenmezse partenogenetik olarak haploid yapıda erkek birey oluşur. Yani arılar bir anlamda

hermafrodit canlılardır. Bu anlamıyla bir ana arı genetik materyal olarak hem ana hem de baba olabilmektedir (Şekil 124).



Şekil 124. Bir Ana arının erkek ve dişi cinsiyet hücresi üretmesi (kesikli çizgi baba, düz çizgi ise anayı temsil eder).

B ana arısı ürettiği yumurta hücresi ile ana (BD) ve ürettiği erkek gamet hücresi (sperm) ile de baba (BE) olabilmektedir. Bundan dolayıdır ki arı ıslahında yetiştirme (çiftleştirme) sistemi ana arılar üzerine kurulur. Cinsiyeti belirleyen yapının sonucu olarak ana arılar kendilerine uyuşmazdırlar. Arılardaki haplo-diploid yapı çok farklı çiftleştirme sistemini mümkün kılmaktadır. Bazı ıslah programlarında, özellikle de ileri düzeyde akrabalı yetiştirme uygulamalarında meydana gelecek sonucun güvenilirliği az sayıdaki çiftleştirme yöntemine bağlıdır.

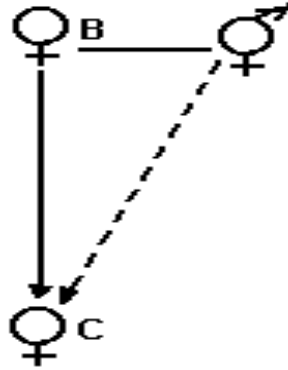
2.4.1. Çapraz (Reciprocal) Çiftleştirme

Diploid canlılarda çoğunlukla gerekli olan resiprokal çiftleşme erkek arıların haploid yapıda olmaları sebebiyle arıda bir zorunluluk değildir. Ancak bal arısında resiprokal çiftleşmeyi zorunlu kılan, ana arılar arası çiftleşmeler ve hatların test edilmeleri söz konusu olduğu durumlardır. Bir ana arı kendi genotipinin izin verdiği düzeyde farklı yapıda gamet hücresi üretir. Fakat ana arılar ile çiftleşen her erkek arı kendi analarının sahip olduğu genomdan sadece birisini taşır. Analar arası yapılacak çaprazlama ile diploid yapı farklılığından kaynaklanan etkinin düzeyi belirlenir.

2.4.2. Kendileme

Bal arılarında mümkün olan bir yetiştirme şeklidir. İleri düzeyde homozigotluk sağlamak amacıyla tercih edilir. Cinsi olgunluk yaşına gelmiş ve çiftleşmemiş bir ana arı (B anası) karbondioksit (CO₂) uygulaması yapılarak döllenmemiş yumurta yumurtlaması sağlanır. Bu yumurtalar haploid yapıda oldukları için erkek bireyler meydana getireceklerdir. Bakım beslemeleri yapılan ve ergin hale gelen bu erkeklerden alınacak sperm ile ana arı (B) yeniden yapay tohumlama ile döllenir. Şekil 125’de görüldüğü gibi B ana arısı sadece dölsüz yumurta yumurtlama yeteneğinde olan bir ana arı iken, C kolonisinde ise kendisinin ürettiği ve genomunun aynısı olan erkek gamet hücreleri ile döllenmiş bir ana arı konumuna gelmiştir. Bal arısında kendileme diploid canlılardakinden daha fazla benzerlik sağlar. İki adet cinsiyet alleline sahip olması sebebiyle kendine döllenmiş ana arıların

yumurtalarından homozigot diploid oluşum sebebiyle oluşacak yavruda yaşama gücü %50 düzeyinde azalır.



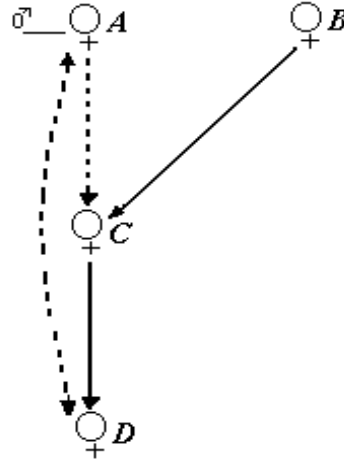
Şekil 125. Bal arısında kendileme.

2.4.3. Bir Erkek Arının Birkaç Ana Arı ile Çiftleştirilmesi

Bu çiftleştirme yönteminde önce bir erkek arıdan eversiyonla semen alınır. Erkek arı (A)'dan semen şiringasına alınan semen (tek tip genom), önce iki, üç veya dört eşit kısma bölünür ve bunların her birisi ile bir ana arı (B, C, D ve E analarının) yapay yolla döllenir. Dölleme etkinliği asgari düzeye iner, ancak belirli miktarda sperm spermatekaya ulaşır ve bu yetiştirme uygulamasından da yeterli miktarda dişi birey üretimi mümkün olur. Bu ana arılar birbirleriyle farklı düzeylerde akraba olabilir. Örneğin öz kızkardeş familyasından gelen ana arılar olabilirler. Böyle bir çiftleştirme ile baba bir dört öz kızkardeş familyası oluşturulur. Bu sayede genotip çevre ilişkisi veya karakterin kalıtsallık düzeyini belirlemek mümkündür.

2.4.4. Baba Kız Çiftleştirmesi

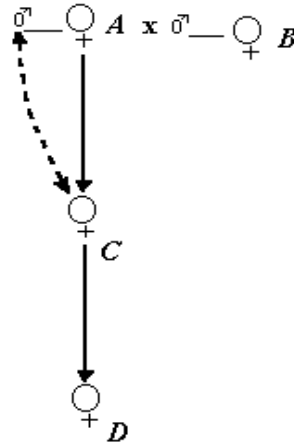
Bu bir erkek anasıyla geriye çiftleştirmenin tekrarıdır ve %50 akrabalıkla sonuçlanır. Şekil 126'daki B ana arısının olduğu koloniden larva transferi ile C ana arısı yetiştirilir ve A ana arısının döllenmemiş yumurtalarından yetiştirilen erkek arılarla çiftleşmesi sağlanır. Daha sonra C ana arısının olduğu koloniden larva transferiyle D ana arısı yetiştirilir ve yetiştirilen ana arı (D) cinsi olgunluk yaşına geldiğinde A kolonisi erkek arılarından toplanan semen ile yapay döllemesi yapılır. Bu çiftleştirme baba kız çiftleştirilmesi olarak tanımlanır. Burada D ana arısının gerçek babası kendi anası olan C ile çiftleşen A ana arısının oğullarıdır. A ana arısının ürettiği bu erkekler normal diploid canlılar olmuş olsaydı D ana arısının dedeleri olurlardı (Şekil 126).



Şekil 126. Baba kız çiftleştirilmesi.

2.4.5. Ana Kız Çiftleştirmesi

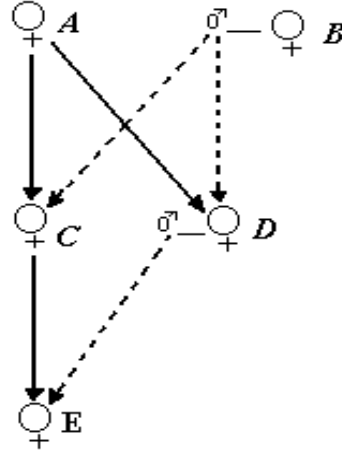
Bu fiziksel olarak, erkek ve kız kardeş çiftleşmesi anlamına gelir. Kızlar burada kendi ana arılarının ürettiği erkek arılardan alınan spermle döllenir. İslah çalışmalarında genelde akrabalık düzeyinin ve buna bağlı olarak homozigotluğun daha kısa sürede tamamlanması amacıyla yönelik başvurulan bir çiftleştirme yöntemidir. A ana arısı ana ve B ana arısı baba olarak değerlendirilir ve bu çiftleşmeden C ana arısı üretilir. C ana arısı A ana arısının erkeklerinden toplanan semenle döllenir ve bu sistem ana kız çiftleştirilmesi olarak değerlendirilir (Şekil 127).



Şekil 127. Ana kız çiftleşmesi.

2.4.6. Süper Kızkardeş Çiftleştirmesi

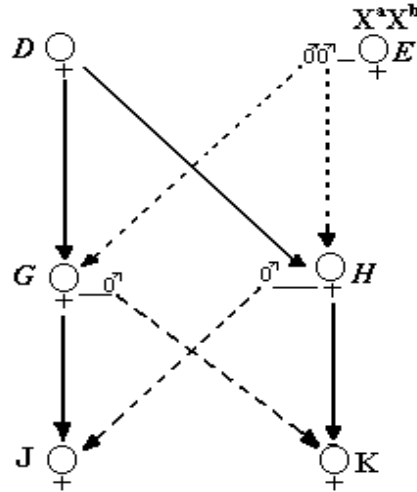
Süper kızkardeşler, ana bir baba bir çiftleştirilmesi sonucu elde edilen döllerdur. Şekil 128'de görüldüğü gibi, A ana arısı B ana arısının bir erkeği ile çiftleştirildiğinde elde edilen C ve D ana arıları veya kızları birbirleriyle süper kızkardeşirler. C ve D ana arılarından C ana arısı ana ve D ana arısı da baba olarak veya tam tersi seçilip çiftleştirildiğinde elde edilen E dölü süper kızkardeş çiftleşmesi sonucu üretilmiş bir bireydir. Kendileme den sonra homozigotluğun en hızlı şekilde sağlanabildiği bir çiftleştirme yöntemidir.



Şekil 128. Süper kızkardeş çiftleşmesi.

2.4.7. Öz Kızkardeş Çiftleştirmesi

Ana bir baba bir ana arının iki erkek dölüyle yapılan çiftleştirme şeklidir. D ana arısı E ana arısının dölü olan iki erkek (X^a ve X^b) arı ile çiftleştirilir ve bu çiftleştirmeden G ve H bireyleri (ana arıları) üretilir. Bu iki ana arı (G ve H) birbirleriyle öz kardeşirler. Daha sonra G ana arısı H ana arısının ve H ana arısı da G ana arısının ürettikleri erkek arılardan toplanan semen ile döllenir ve J ve K bireyleri üretilir. Bu iki birey (J ve K) süper kardeş çiftleştirilmesinin ürünüdürler. Burada ana ve baba karşılıklı ebeveyn durumundadır. Bu yöntem diploid canlılardaki öz kardeş çiftleştirilmesinin benzeridir. Arılarda gerçek eşler arası çiftleştirme bu yöntemle mümkün olmaktadır. Bu çiftleştirmenin dölleri olan dişi bireyler ebeveynlerini eşit ve $\frac{1}{2}$ oranında temsil ederler. Bu sistemde homozigotluk süper kız kardeşlerden daha yavaştır (Şekil 129). J ve K bireylerinin akrabalık derecesi ($R^{GJK} = JGDHJ + JGEHK$ yollarının toplamına eşittir.



Şekil 129. Öz kızkardeş çiftleşmesi.

2.4.8. Üvey Kızkardeş Çiftleştirmesi

Üvey kızkardeşler bir ortak ataya sahiptirler. Ana bir baba farklı ana arıların oğullarıdır. Arı ailesinde en büyük popülasyonu bunlar oluşturmaktadır.

3. Bal Arısı İslahı

Günümüzde arı ıslahı, mevcut materyalin (populasyonun) bilinen uygun ıslah yöntemleriyle değerlendirilmesi esasına dayanır. Bilinen ıslah yöntemleri ile istenilen özelliği/özellikleri determine eden gen/genlerin frekansları artırılmış genotipte yeni bir populasyon veya sürü üretilmektedir. Ancak son yüzyılda başta ABD ve Avrupa’da uygulanan ıslah yöntemleri tek taraflı yapılmış ve ham populasyonların çok önemli bir kısmı yok olmuştur. Bize göre bu ıslah yöntemleri ile arı yetiştiricileri için üstün verimli materyal üretilirken diğer tarafta arılarda genetik varyasyonu azalttığı için arılar için büyük bir sorun hatta sonlarını hazırlamaktan başka bir şey olmamıştır. Bunu insanoğlu ancak gelecek yüzyıl içerisinde anlayabilecektir. Çünkü arıda cinsiyet oluşumu, üreme ve kalıtsallık biyolojik olarak hem farklı hem de karmaşık bir yapıdadır. Hatta bu yapı geçmişte arı ıslah çalışmalarını geciktirmiş ve ciddi şekilde engellemiştir. Dolayısı ile arı ıslah çalışmalarında akla her gelen çiftleştirme veya melezlemeyi yapmaktan ziyade zorunlu iyileştirmeye ihtiyaç duyan genotipik yapılara iyi olanları aktarma olmalıdır. Bunu yaparken de ham populasyonun mutlaka muhafaza edilmesinin gerekli olduğu unutulmamalıdır. Arılarda farklı olan veya olumsuzluk yaratan sebeplerden bazılarını aşağıda verildiği şekilde sıralamak mümkündür;

- Ana arının çiftleşmesinin kontrol edilememesi
- Ana arının birkaç kez çiftleşebilmesi
- Ana arının 5-28 arasında değişen sayıda (ve ortalama 15-20) erkek arıyla çiftleşmesi
- Spermin spermatekada depolanması ve kullanımının değişebilmesi
- Arılarda haplo-diploid cinsiyet oluşumunun mevcut olması
- Kalıtsallığın belirlenmesinin güç ve farklılaşabilir olması
- Arının çevreye duyarlı olması
- Genotipik yapıların (ırkların) coğrafik bölge koşullarına uyumlu oluşmalarıdır.

Ana arı bir veya birkaç çiftleşme uçuşunda, sayıları 15-20 arasında değişen sayıda erkek arı ile çiftleşir. Her çiftleşmede farklı miktarlarda spermatozoa spermateka kesesine ulaşır ve her tarafına dağılarak depolanır. Böylece, her ana arı çiftleştiğinde yörede mevcut lokal populasyondan tesadüfi bir miktar sperm alır. Çok sayıda ana arı çiftleştiğinde ise bunların spermateka keselerinde depolanan spermatozoalar o alandaki tüm populasyonun gen havuzunun temsilcisi durumuna gelir.

Arıda, dişi ile dişinin ($\text{♀} \times \text{♀}$) çiftleşmesi terminolojik yönden gerçek anlamda genetik eş olarak kabul edilir. Bu yapı daha önce bahsedildiği gibi aslında öz kızkardeşler arası çiftleştirme (full-sib mating) ile mümkündür. Genetik olarak erkek ve kızkardeş çiftleştirilmesi ile mümkün değildir. Çünkü diploid yapıdaki canlılarda her ebeveyn yavrusuna sahip olduğu genetik yapısının tesadüfi bir yarısını ($1/2$) aktarır kuralı arıda ancak öz kardeşler arası çiftleştirmeye mümkün olmaktadır. Öz kızkardeşler bir ana arının diploid yapıdaki her genomunun her bir yarısını tesadüfi olarak alırlar. Burada kullanılan terminoloji, gametlerin genetik orijinlerini ifade eder. Balarısında ancak gerçek üreme veya döl meydana getirme yeteneğinde olan ana ve işçi arılar gametlerin genetik orijinleri olabilirler. Çünkü yalnızca bu iki birey diploid genotip yapıdadır ve ana ve babayı temsil eden gamet hücrelerinin birleşmesi sonucu meydana gelmişlerdir. Oysa erkek arılar genetik yönden orijinlerini tek tip kaynaktan alırlar. Bu nedenle sadece tamamlayıcı olarak kabul edilirler ve orijin yönden genetik eş olarak kabul edilmezler.

3.1. Arı İslahında Uygulama Prensipleri

İslah, aslında bir insan buluşu değildir. Doğada milyonlarca yıldan beri canlılar çok etkili ve sürekli bir değişim içerisinde. Bu değişim, adaptasyon yönünden hep mükemmele doğru ilerlemiştir. Bu nedenle, sürekli bir doğal seçicilik süregelmıştır. Ancak bu doğal seçicilik her zaman iyilerin seçilmesine şans vermez. Bal arısında bu durum diğer evcil hayvanlardan daha belirgin bir biçimde fark edilir. Arı kolonileri, doğal şartlara veya kendi hallerine bırakıldıklarında çoğunlukla oğul eğilimi fazla olanlar, daha hırçın davranış ortaya koyanlar ve birçok karakterce heterojen yapı gösterenler daha fazla çoğalma şansına sahip olurlar. Bugünkü ıslah anlayışında ise daha çok insan müdahalesi ile ekonomik ve arzulanan karakter/karakterlere sahip olanlara daha fazla çoğalma şansı verilerek bunların sürü içerisindeki sayısını artırma düşüncesi vardır. Böyle bir amaç uygun ıslah programıyla gerçekleştirilir. Öncelikle arı ıslahında genelde iki yöntemden yararlanılmaktadır.

1. Akrabalı (Pedigrili) yetiştiricilikten yararlanarak ıslah (hat ve hibrit arı üretimi)
2. Kapalı popülasyon ıslahı.

Ancak yöntemlerden hangisi tercih edilirse edilsin her ikisinde de başarıya ulaşmanın yolu seleksiyondan yararlanmaktır. Bu iki ıslah yönteminde de damızlık materyal üretiminde aşağıda sıralanan koşulların sağlanması ile hedefe ulaşılır;

- Irk yetiştirici koşullarında birkaç generasyon test edilir ve uygun olanlar belirlenir
- Üstün fenotip gösterenlerin bu üstünlüklerinin kalıtsal yapıdan kaynaklandığı tespit edilir
- Yakın akrabalı yetiştiriciliğe dayalı bir çiftleştirme uygulanır
- Verimlilik açısından en ideal genetik stoklar (ana arılar) belirlenir
- Ticari değeri olan bu genetik stoklar sertifikalandırılarak “damızlık materyal” niteliği kazandırılır
- Ana arı üreticileri damızlık sertifikasına sahip olan bu materyalden temin eder ve larva transferinde yararlanırlar
- Ana arı yetiştiricileri ürettikleri bu kullanma materyali ana arılar arı yetiştiricilerine sunulur
- Bu genetik stoklar korunarak genotipik yapının geliştirilmesine yönelik ıslah programları başarılı bir şekilde sürdürülür.

Günümüz arıcılığında ise daha çok akraba hatlar geliştirilmiş olup bu hatlar birbirleriyle melezlenerek hibrit materyal üretilmektedir. Sistemin başarılı olması akrabalı yetiştiricilikte uygulanacak farklı çiftleştirme sistemleriyle heterozigotlukta meydana gelecek kayıp veya homozigotlukta meydana gelecek artış düzeyinin iyi belirlenmesiyle mümkündür. Bütün bunlara geçmeden önce, bal arılarının sistematik gruplandırma yapısına ilişkin bazı kavramların tanımını yapmak ıslah açısından önemli avantajlar sağlayacaktır.

Irk (Subspecies): Orijinini sınırları belli bir coğrafik bölgeden alan ve ortak morfolojik, davranış ve fizyolojik özelliklere sahip olan arı popülasyonlarına denir.

Hat (Line): Birbirleriyle akrabalık düzeyleri bilinen ana arı grubuna denir.

Soy: Belirli bir ırk içerisinde bir ata grubundan gelen ve ırkın özelliklerine daha fazla ve homojen biçimde sahip olan ana arı grubuna denir. Bu ana arılar arasında yakın akrabalık ilişkisi yoktur. Arı ırkları içerisindeki çok sayıda soy belirlenmiştir. Örneğin, Karniyol (*A m carnica*) ırkı içerisinde önemli soylar mevcuttur. Hatların muhafaza edilmelerindeki zorluklar ve ırklar arası

melezlemelerin saf yetiştiriciliğin uygulandığı bölgelerde yarattığı olumsuzluklar sebebiyle aynı ırk içerisindeki soylar arası melezlemeler daha fazla tercih edilmektedir. Bu nedenle arı soyları ıslah çalışmaları için önemli genetik kaynaklardır.

Familya: Aralarında belirli düzeyde akrabalık ilişkisi bulunan ana arı grubuna denir. Bal arılarında bu familyaları oluşturan ana arı grupları daha çok süper, öz veya üvey kızkardeş gruplarından oluşur.

Genotip: Koloninin bulunduğu çevrede sahip olduğu genlerin tümüne denir.

Fenotip: Arı kolonisinin bulunduğu koşullarda ortaya koyduğu morfolojik, fizyolojik ve davranışsal yapı ile ilgili gözlemlenen, sıfatlandırılan ve ölçülen her türlü özelliğine denir.

Çevre: Arı kolonilerinin belirli sürelerle barındırıldıkları ve kendilerine sağlanan ortam ve yerlere denir. Barınma ortamını kovan oluştururken, bulunduruldukları yer ise bölgeyi oluşturur. Bu nedenle arı kolonilerinin etkilendikleri çevre iki gruba ayrılır. Bunlardan birincisi mikro çevre olarak tanımlanan kovan iç koşulları ile arılık şartlarıdır. Kovan materyali, iç sıcaklığı, CO₂, nem düzeyi, havalandırma kapasitesi ve hacim gibi kovan iç koşulları yanında, arılığın yönü, kovanın arılık içerisinde düştüğü yer, güneşten yararlanma, rüzgâr ve nem düzeyi gibi koşullar ise arılıkla ilgili çevreyi oluşturur. İkincisi ise makro çevre olarak bilinen ve daha çok bölgenin veya yörenin doğal koşullarının tümünü kapsayan çevredir. Makro çevre koşulları; bölgenin topoğrafik yapısı, rakım, sıcaklık, rüzgâr, nem, ışık şiddeti, yağış, bitki örtüsünün potansiyeli, çeşitliliği, çiçeklenme dönem ve süreleri, polen ve nektar kaynaklarının çeşit ve zenginliğini kapsar.

Diğer evcil hayvanların ıslahında olduğu gibi etki payları ve etki miktarları standart hale getirilen ve sürekli, kesikli ve hata unsuru varyasyon gösteren çevre faktörleri bal arıları için de geçerlidir. Ancak bal arılarının üreme ve çoğalma özelliklerinin sağlamış olduğu avantaj sebebiyle bu çevre faktörlerinin bir kısmı için genelde standartlaştırmaya ender durumlarda ihtiyaç duyulur. Örneğin, koyun, keçi ve sığırlarda ana yaşının doğum ağırlığına veya süt verimine olan etkisi daha çok aynı yaşta ana olmadığından farklı yaş grupları için standartlaştırmaya ihtiyaç vardır. Oysa bal arısında aynı genetik kaynaktan aynı yaş ve aynı çıkış tarihli istenilen sayıda ana arı yetiştirmek mümkündür.

Bal arısında ana arı yaşı, larva yaşı, oğul yaşı, bölge ve yıl etkisi kesikli varyasyonu, ana arı ağırlığı, larva ağırlığı, tüketilen arı sütü miktarı, kuluçka ortam sıcaklığı, şerbet miktarı ve bunun gibi faktörler ise sürekli varyasyon gösteren çevreyi oluşturur. Kesikli ve sürekli varyasyon gösteren bu çevre faktörlerinde etkiler iki şekilde ifade edilir. Birincisi “etki miktarı” olup, Regresyon Katsayısı ile ve ikincisi ise “etki payı” olup Belirleme (Determinasyon) Katsayısı ile ölçülür. Belirleme Katsayısı, bağımsız değişkenin bağımlı değişkende meydana getirdiği değişimin, bağımlı değişkende tüm unsurların etkisiyle meydana gelen toplam varyasyondaki nispi miktarıdır. Regresyon Katsayısı ise, bağımsız değişkenin bir ölçü birimi artmasına karşılık bağımlı değişkende meydana gelmesi beklenen değişimin miktarıdır.

3.2. Genetik Varyasyon

Bal arısı morfoloji ve fizyolojisi yönünden dünya üzerinde önemli bir varyasyon mevcuttur. Örneğin dünyanın çok farklı bölgeleri bal arıları dil uzunluğu 5.31 ile 7.19 mm ve ikinci tergum renk karakteri yönünden ise 2 ile 9 skala değerleri arasında değişim gösterir. Balarıları dünya üzerinde bulundukları coğrafik bölgelerin ekolojik yapılarından dolayı çok farklı çevre koşullarına maruz

kalmışlardır. Böylece coğrafik yapı ile genotipik yapının ortak etkileşimiyle farklı fenotip değerlere sahip bir oluşum meydana gelmiştir. Burada öncelikle belirleyici faktör sahip olunan genomik yapıdır. Sahip olunan genomik yapı ise çevre faktörlerinden farklı düzeylerde etkilenmektedir. Bu sistem, farklı alt türlerin sahip oldukları genomlarının evölüsyon ile kendi orijinal çevrelerine uyum sağlamalarını mümkün hale getirmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmalar ışığında genelde her genotipin kendi orijinal bölgesine daha iyi adapte olduğu yönünde genel bir ortak görüş hâkimdir. Bu genotiplerin kendi orijinal bölgelerinde kazandıkları üreme etkinliği, savunma eğilimi, polen toplama, oğul eğilimi, kuluçka etkinliği ve bal verimi gibi fizyolojik ve davranış özelliklerini başka bölgelerde de belirli seviyelerde sürdürdükleri tespit edilmiştir. Bal arılarında homeostatik yapının iyi gelişme göstermesi adaptasyon yeteneklerinin sağladığı üstünlüğün sonucudur. Çalışmalar F_1 hibritlerinin ebeveyn popülasyonları arası düzeyde bir yapı ortaya koyduklarını göstermiştir. Üzerinde çalışılan genlerin dominant etkileri, eklemeli etkileri ile karşılaştırıldığında dominant etkinin daha az olduğu görülür. Yani, esas etki eklemeli gen kaynaklıdır. Bu nedendir ki morfolojik karakterlerin kalıtsallığı daha yüksektir.

3.3. Kantitatif Genetik Yapı

Arı ıslahı ile ilgili olarak daha çok popülasyonların coğrafik dağılımları, sistematik gruplandırılmaları, popülasyon genetiği, özellikle de cinsiyet allelleri ve görme mutasyonları konularında çalışmalar yapılmıştır. Özelliğin kalıtım derecesinin belirlenmesi belirleyici olmuştur. Döl popülasyonu ile ebeveyn popülasyonu arasındaki ilişki belirlenip bunun düzeyi tanımlanabilmektedir.

Kantitatif karakterler arasındaki en belirgin farklılık bu karakterleri en iyi şekilde ifade edecek olan gen gruplarıdır. Bir karakter görülebilir ve ölçülebilir farklılıklar ortaya koyar. Bu farklılıktaki en önemli unsur her lokusta çok sayıda kombinasyon oluşturabilme yeteneğine sahip genlerin bulunmasıdır. Kantitatif bir karakter, her biri çok sayıda allel gen ihtiva eden çok sayıda lokus tarafından kontrol edilir. Bu allel genler, ayrıca diğer lokuslarda da önemli değişime uğrayabilme özelliğine sahiptirler. Dil uzunluğu, kıl uzunluğu, bal verimi ve davranış gibi karakterlerin bu çok faktörlü kalıtsallığı, popülasyondaki düzeylerinin belirlenmesi ile mümkündür. Bu amaçla, popülasyonun herhangi bir fenotip için ortalaması, varyansı ve genetik veya fenotipik yünden karakterler arası ilişkiler (interaksiyonlar) en önemli kanıtları oluşturur.

Arılarda kantitatif genetik yapılarına ilişkin teori, hayvan ıslahı programlarında gözlemlenen değişikliğin biyolojik esaslarını kapsamaktadır. Bu teori, popülasyonun görünüşü ve kantitatif karakterleriyle ilgili olup, çoğunlukla popülasyonlara uygulanan ıslah çalışmalarını, akraba hatlar arası çiftleştirmeleri ve farklı seleksiyon metotlarını kapsar.

3.3.1. Kantitatif Bir Karakterin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Kantitatif özellikler, genelde her birinin etkisi az olan çok sayıda gen tarafından determine edilir. Bazen herhangi bir karakteri belirleyici durumda olan geni doğrudan veya epistatik olarak etkileyecek diğer lokuslardaki bazı modifiye edici genler de bulunabilir. Bu tür genlerin kromozom mekanizmalarında, temelde herhangi bir farklılık olmamasına rağmen bazen bir karakteri kontrol eden bir genin kromozomla daha yakın bir bağı olabilir. Böyle çok sayıda grup halindeki genlerin tek karakter üzerinde etkili olmaları durumu polygen olarak tanımlanır. Bal arılarında ekonomik önemi olan karakterlerin tümü kantitatif niteliktedir.

Karmaşık olan genetik yapıya açıklık getirmek üzere görülebilir ve ölçülebilir özelliklere ait fenotiplerin çok iyi bir şekilde tanımlanmalarıyla işe başlanır. Bazı karakterler çok kolayca ölçülebilir. Bunlara en iyi örneği ise morfolojik karakterler gösterir. Hormon ve feromon seviyesi veya hastalıklara karşı duyarlılık gibi fizyolojik özellikler ise karmaşık ve tespiti güç karakterlerdir. Polen toplama, koloni popülasyonu gelişimi, kuluçka üretim etkinliği ve bal verimi gibi performans ile ilgili karakterler ise geliştirilmiş ölçüm yöntemleriyle belirlenir. Diğer tarafta daha karmaşık yapıda olan davranış biçimlerini basit kısımlara bölerek ölçmek ve belirlemek daha güvenilir olmaktadır.

Kantitatif nitelikteki bir karakterin ölçülmesinde üç temel unsur dikkate alınır. Bunlar;

1. Ölçüm yöntemi karakteri belirlemeye uygun olmalıdır
2. Yöntem koloniler arasındaki varyasyonu ortaya koyabilmelidir
3. Karakter normal dağılım göstermeli ve bireyler popülasyon ortalaması etrafında simetrik dağılım göstermelidir.

Yaşama gücü ve oğul eğilimi gibi % ile belirlenen karakterler ise ölçüldükten sonra ölçüm değerleri bir transformasyon işlemine tabi tutulur ve daha sonra değerlendirilir. Bazı karakterlere ait ölçümler, belirli bireylerde ve yine bir kısmı ise belirli zamanlarda yapılmayı zorunlu kılmaktadır. Örneğin, yumurtlama yeteneği sadece dişi bireye ait bir özelliktir ve arıcılık sezonunun belirli bir döneminde ölçülebilir. Alarm feromonu (iso pethyl asetat) salgılama düzeyi yaşa bağlı değiştiği için işçi arıların yaşamlarının ancak belirli dönemlerinde ölçülebilir. Ana veya işçi arıda ovariol sayılarının tespiti gibi diğer bazı üreme yapıları ile ilgili özelliklerin ölçülmesi ise bazen organizmanın kendisinin veya dölünün disseksiyonunu gerektirir. Ayrıca, sosyal böcek olan bal arılarında davranışla ilgili ölçümler genelde bireylerden ziyade biyolojik bir birim olan koloninin kendisi üzerinde yapılan ölçümlerle belirlenir.

3.3.2. Kantitatif Genetiğin Amaçları

Kantitatif genetiğin temel amacı, mevcut popülasyona uygulanan seleksiyon ve ıslah programının sonucunu ölçerek tahmin etmektir. Ölçümler, bir özelliğin gelecek döl generasyonunda nasıl olacağını tahmin etmek amacıyla çoğunlukla akrabalarından oluşan gruplar (öz, süper ve üvey kardeş familyaları ve hatlar) üzerinde yapılır.

Normal dağılım gösteren bir popülasyon iki parametre ile tanımlanır. Bunlar, ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (δ) veya varyans (S^2) tır. Ancak popülasyonun daha iyi tanımı için diğer bazı parametrelerin bilinmesinde de yarar vardır. Bu nedenle popülasyon herhangi bir kantitatif karakter yönünden değerlendirildiğinde, ortalama, varyans, kovaryans, korelasyon, regresyon, standart sapma, standart hata ve varyasyon katsayısı gibi parametrelerin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulur ve işe bunların tespiti ile başlanır. Bu terimlere ait tanımlamalar istatistik ve ıslah derslerinde anlatılmakta ve konu ile ilgili detaylı kaynaklar bulunmaktadır. Arı ıslahıyla olan ilişkinin daha anlaşılır hale getirilmesi amacıyla burada bazı terimleri bir kez daha öz biçimde tanımlama ihtiyacı duyulmuştur.

Ortalama (\bar{X}): popülasyonu oluşturan bireylere ait fenotipik değerlerin kümелendiği veya frekansın en fazla olduğu değerdir. Varyantların toplamalarının ($\sum X_i$) toplam varyant sayısına (n) bölünmesiyle belirlenir.

$$\bar{X} = \sum X_i / n$$

Geometrik Ortalama (GO): Bir olayın bir zaman dilimi içerisinde belirli bir geometrik oranda gösterdiği değişimdir. Elde edilen değerlerin (varyantların) çarpımlarının n'inci dereceden köküne eşittir. Buna örnek olarak arıda larva yaşının belirli sürelerde (24, 48 ve 72'inci saatlerde) gösterdiği canlı ağırlık artışı (mg) veya büyüme miktarındaki değişim gösterilebilir.

$$GO = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \dots X_n} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Varyans (S^2): Populasyonun değerlendirilen fenotip yönünden gösterdiği değişim ölçüsüdür. Bireylerin populasyon ortalamasından farklarının karelerinin toplamının, toplam birey sayısının (n) bir eksiğine bölünmesiyle belirlenir.

$$S^2 = \sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 / n - 1$$

Varyans, aslında genel kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesi ile elde edilen bir değerdir. Buda varyans analizinde Kareler Ortalamasına (KO) ilişkin değere tekabül eder. Bu sebeple varyans analizinde, Genel Kareler Toplamı ($GKT = \sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$ bunda payı olan varyasyon kaynaklarına paylarına göre bölüştürülür ($\sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 / n - 1$). Buradan elde edilen değerler varyansı meydana getiren unsurlara ait etki payı'dır.

Varyans analizinde üzerinde durulan her faktör (muamele), grupların ortalamaları arasında bir varyasyon meydana getirir. Populasyonda farklı grupların oluşmasına sebep olur. Bu varyansı oluşturan temel sebep faktörün kendisidir. Varyasyonun ölçüsü ise gruplar arası (δ_{ara}^2) varyansa tekabül eder ve varyans analiz yöntemiyle hesaplanır. Örneğin, farklı yaşta larvalardan yetiştirilen ana arıların çıkış ağırlıkları birbirlerinden farklıdır şeklinde bir hipotez kurmak mümkündür. Bu farklılık tesadüfe atfedilmeyecek kadar büyük ise larva yaşı ana arı çıkış ağırlığını etkileyen önemli bir faktör olarak kabul edilir. Bu amaçla önce ana arılar yetiştirildikleri larva yaşına göre gruplandırılır. Burada aynı yaşta larvalardan yetiştirilen ana arıların çıkış ağırlıkları arasında da farklılık vardır. Bu farklılığın kaynağı hata unsurları, yani tesadüfî hatadır. Farklı yaşlardaki larvalardan yetiştirilen ana arıların oluşturdıkları gruplar arasındaki farklılıkta da tesadüfün payı bulunur. Bu pay, aynı yaştaki larvalardan yetiştirilen anaların ağırlıkları arasındaki farklılığın ölçüsü kadardır. Bu farklılık, δ_{ic}^2 'e tekabül eder. Bu durumda farklı yaşta larvalardan yetiştirilen ana arıların çıkış ağırlıkları arasında tesadüften ileri gelenden daha büyük bir farklılık var ise o zaman larva yaşının bir çevre faktörü olarak ana arı çıkış ağırlığını etkilediği söylenebilir.

Standart Sapma (Standart Deviation, S_d , δ): Populasyon için geçerli bir parametredir ve normal dağılım gösteren değişkenlerin ölçü birimidir. Varyansın karekökü alınmak suretiyle elde edilen ortalama dağılıma denir. Değişkenlerin ortalamadan olan ayrılışlarının bir ölçüsüdür.

$$S_d = \sqrt{S^2}$$

Yani standart sapma, ortalaması (μ) ve standart sapması (δ) bilinen bir normal dağılımda herhangi iki nokta arasındaki eğrinin altında kalan alana ilişkin kısmın belirlenmesine yöneliktir. Ortalamanın bir standart sapma eksiği ve fazlası arasındaki değerler, populasyondaki fertlerin % 68'nin sahip olduğu değerlerdir. Ortalamanın iki standart sapma eksiği veya fazlası fertlerin % 95'ini ve üç eksiği veya fazlası ise populasyonun % 99'unu kapsar.

Standart Hata ($S_{\bar{X}}$): Ortalamayı tanımlayan bir değerdir. Varyansın karekökünün n'e bölümüdür. Örnek ortalamalarının populasyon ortalaması etrafındaki dağılım ölçüsüne denir. Diğer bir

tanımlamaya göre, örnek ortalamasının bütün populasyonun ortalamasını ne ölçüde temsil ettiğini belirler. Standart hata sıfır ise örnek ortalaması populasyon ortalamasına eşittir. Standart hatanın değeri büyüdükçe bu populasyondan alınacak örneklerle ait ortalamaların populasyon ortalamasından daha fazla farklılık gösterdiğini ifade eder.

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{S^2/n}$$

Kovaryans: İki değişkenin birlikte değişim ilişkisini inceler.

$$Kov_{(AB)} = \{\sum AB - \sum A \sum B/n\}/n-1$$

Regresyon: Aralarında ilişki bulunan iki karakterden bağımsız (A) olanın bir ölçü birimi değişmesine (artma veya azalmasına) karşı bağımlı (B) değişkenin kendi ölçü biriminde gösterdiği değişim (artma veya azalma) miktarıdır. Yani, B değeri A değerine bağımlı olarak değişim göstermektedir. Bu ilişki b_{BA} olarak ifade edilir. Buna B'nin A'ya göre regresyon katsayısı denir. Bu nedenle regresyonda her zaman özelliklerden biri bağımsız diğeri bağımlıdır.

$$b_{(BA)} = Kov_{(AB)}/S_{(A)} \text{ veya } b_{BA} = \{\sum AB - \sum A \sum B/n\}/n-1 / \{\sum A^2 - (\sum A)^2/n\}/n-1$$

$$b_{(AB)} = Kov_{(AB)}/S_{(B)} \text{ veya } b_{AB} = \{\sum AB - \sum A \sum B/n\}/n-1 / \{\sum B^2 - (\sum B)^2/n\}/n-1.$$

Buradan da A ortalaması ve B ortalaması ile regresyon katsayısı (b_{BA}) bilinen bir regresyon hattının formülü $y_R = \hat{Y} - b_{(BA)} \bar{X} + b_{(BA)} X$ şeklindedir.

Burada y_R =ortalamaları bilinen iki değişkene (A ve B) ait regresyon hattı,

\hat{Y} = B değişkenine ait ortalama değer,

$b_{(BA)}$ = B'nin A'ya göre regresyon katsayısı,

\bar{X} = A değişkenine ait ortalama değerdir.

Burada $\hat{Y} - b_{(BA)} \bar{X} = a$ dır ve gerçek regresyon hattı formülü $y = a + b_{(BA)} X$ şeklini alır.

Aynı zamanda, $y = B$ 'nin (bağımlı değişkenin) alacağı teorik regresyon değeridir.

a = A'nın 0 değerini aldığı durumda regresyon hattının y eksenini kestiği noktadır,

X = A değişkeninin herhangi bir değeridir.

Ayrıca, iki değişkene ilişkin belirlenen karşılıklı regresyon katsayıları değerleri istatistik ve ıslahta araştırmacıya daha fazla bilgi edinme imkânı tanımaktadır. Örneğin, buradaki iki değişkenin (A ve B'nin) belirlenen regresyon katsayıları çarpımı ($b_{BA} \times b_{AB} = R^2 = r^2$) Determinasyon (belirleme) Katsayısını verir. Diğer bir ifade ile aynı değişken çiftinden hesaplanacak regresyon katsayılarının çarpımı korelasyon katsayısının karesini verir. Korelasyon katsayısının bu özelliğinden faydalanarak determinasyon (belirleme) katsayısı adı verilen R^2 hesaplanır. Yani, bu katsayı (R^2) B'lerde (bağımlı değişken) ortaya çıkan varyasyonun % kaçının A tarafından (bağımsız değişken) açıklanabildiğini veya kaynaklı olduğunu gösterir. R^2 'nin 1'e yaklaşımı regresyon denkleminin gerçek ilişkiyi, yani B'nin sahip olduğu ya da gösterdiği fenotipik değer tümüne yakın kısmı A kaynaklı olduğunu ifade eder, 0'a yaklaşımı ise denklemin verileri yeterince tanımlayamadığını (kaynaklı olmadığını) gösterir.

Korelasyon: Değerlendirilen iki karakterden birinin diğeri ile birlikte değişimini gösterir. Daha doğrusu, iki karakter arasındaki ilişkinin varlığına işaret eder. Bu ilişki negatif olabildiği gibi pozitif de olabilmektedir. Korelasyonda her iki özellik karşılıklı olarak birbirlerine bağımlıdır ve birbirleri ile karşılıklı etkileşim halindedirler.

$$r_{AB} = Kov_{(AB)}/\sqrt{S_{(A)}^2 S_{(B)}^2} \text{ veya } r_{AB} = Kov_{(AB)}/\sqrt{V_{(A)} V_{(B)}} \text{ veya da } Kov_{(AB)}/S_{(A)} S_{(B)} \text{ olarak belirlenir.}$$

Bal arılarında korelasyon her zaman ve her şartta görülmez. Bazen karakterler arasında ortaya çıkar. Korelasyonlar, çalışılan genotiplerin yaygınlığı veya benzerliğinden dolayı ortaya çıkar. Karakterler arasındaki korelasyonun genetik dayanağı, aynı kromozom üzerindeki genlerin bağlantısı (linkage)'nın geçici olmasına rağmen çoğunlukla sebep pleiotropy'dir. İki karakter arasındaki korelasyonun derecesi, aynı genler tarafından kontrol edilmesine bağlıdır. Pleiotropik etkilerin bazıları pozitif bazıları ise negatif korelasyon meydana getirebilirler.

Genellikle ölçülen korelasyonlar fenotipik korelasyonlardır. Varyans bileşenlerine ayrılabilirdiği gibi, bu korelasyon veya kovaryans da kendi bileşenlerine ayrılabilirler. Bunlar, genetiksel (iki karakterin ıslah değeri) ve çevresel kaynaklardır. Çoğunlukla çevresel ve eklemeli olmayan genetik korelasyonu ihtiva eder. Korelasyon, kovaryans yardımıyla hesaplanır. Bu da karakterlere ait iki standart sapma yardımıyla belirlenir. Genetik ve çevresel korelasyonlar birbirlerinden oldukça farklıdır. Şayet görünüş bakımından farklı iseler bunun anlamı genetik ve çevrenin karakteri farklı fizyolojik mekanizmalar yoluyla etkilediğidir. Süper ve üvey kardeş familyaları için veya yavrunun ebeveyn üzerindeki regresyonunu belirlemek için aynı deneme planlandığında, genetik korelasyon kovaryans yardımıyla tahmin edilir. Korelasyon, seleksiyona verilen yanıtın da hesaplanabilir. Ayrıca, dolaylı seleksiyon yöntemi yardımıyla iki karakter arasındaki korelasyonu tahmin etmek mümkündür.

Varyasyon Katsayısı (CV): Standart sapmanın ortalamaya oranına ilişkin katsayıdır. Ortalama ile standart sapma arasındaki ilişkiyi gösterir. Genelde % olarak ifade edilir.

$$CV = S_d / \bar{X} \times 100$$

Fenotip Ölçümü: Kantitatif genetiğin ikinci temel amacı ise canlının içerisinde geliştiği çevre ile kendi genotipinden nasıl etkilendiğini tespit etmektir. Bu benzer genotipe sahip bireyleri veya grupları farklı çevre koşullarında ve farklı genotipteki birey veya grupları aynı çevre şartlarında tutarak tespit edilir. Populasyon veya grubun o çevrede ortaya koyduğu bu ilişki aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$P = G + E$$

Burada;

P = fenotip

G = genotip

E = çevreye ilişkin değerleri ifade eder.

Şayet çevre etkisi tamamen kaldırılır ve sıfıra indirilirse fenotip tamamen genotipe tekabül eder. Bazı farklı özellikler için bu varsayım doğru olabilir, fakat kantitatif nitelikteki karakterler için bu yaklaşım çok ender durumlar için geçerli olabilmektedir. Teorik olarak benzer genotipe sahip populasyonun ortalama değeri normal çevresinde gerçek genotipe dayanarak ölçülebilir. Bu pratik olmadığı gibi genotipin fenotipe tekabül eden değerini sadece bir bölge veya dar alana dayandırarak belirlemek ve sonuçta bunu genelleştirmek sağlıklı değildir.

3.3.3 Ortalama Etki ve Damızlık Değeri

Ortalama genotipik değer, herhangi bir karakterin belirleyicisi olan gen veya genlerin bütün lokuslardaki ortalama etkileri toplamıdır. Bunun için, ilk önce populasyonun üzerinde durulan herhangi bir kantitatif karakterini determine eden bir genin ortalama etkisi belirlenir. Bir genin ortalama etkisi, o gene sahip genotiplerin populasyon ortalamasından gösterdikleri sapmaların ortalamasıdır. Birey bu geni ebeveynlerinin herhangi birisinden alır. Allel genlerden sadece birisini temsil eden bu gen, genotipik yapıyı farklı şekillerde yapılandırması sebebiyle ortalama sapmanın da değişimine sebep olur. Bu değişimin etkisi ise bu genin ortalama etkisi kadardır. X^B genini taşıyan gametlerin populasyonda mevcut bütün gametlerle eşit şansla birleşmeleri ile meydana gelecek zigotların populasyon ortalamasından gösterecekleri ortalama sapma X^B geninin ortalama etkisidir. Buradaki sapma fenotiptiktir ve belirlenen bu ortalamalarda genotipik değer ölçüleridir.

Diğer tarafta bir genin ortalama etkisinden daha önemli olan bir bireyin dölüne aktardığı tüm genlerin ortalama etkileri toplamıdır. Bireyin yavrusuna aktardığı tüm genlerin ortalama etkileri toplamına ise bireyin damızlık değeri denir. Değer çoğunlukla döl kontrolü ile belirlenir. Bu değer ebeveynin taşıdığı tüm genlerin ortalama etkileri toplamıdır. Değerlendirme sadece genlerin eklemeli etkilerini, yani eklemeli genotipik değeri kapsar. Aynı veya farklı lokuslardaki genler arası interaksiyonu (dominant ve epistatik etkiyi) kapsamaz. Mendel sadece diploid organizmalardaki iki allel geni veya lokusu incelemiştir. Oysa lokuslar çok sayıda ve farklı kombinasyonlarda allel genlere sahip olabilirler. Bu nedenle kantitatif genetik, her birisi diploid yapıdaki organizmanın hayatının herhangi bir döneminde görülebilecek çok sayıda geni inceler. Bal arısında ana ve işçi arılar diploid bireylerdir, döllenen yumurtadan meydana gelir ve her lokusta iki allel gene sahiptirler. Diğer tarafta erkek arılar haploid canlılardır, döllenenmemiş yumurta hücresinden meydana gelir ve her lokusta sadece bir gene sahiptirler. Bal arısında kantitatif genetik çalışmalarında bu yapının dikkate alınması bir gerekliliktir.

3.3.4. Dominans ve Epistatik Etki

Lokuslar içinde ve arasında iki tip ilişki mevcuttur. Bu ilişkiler fenotipin şekillenmesinde önemli etkiye sahiptirler. Dominantlık, sadece diploid gene sahip canlılara özgü bir özelliktir. Dominantlığın ölçüsü, heterozigot yapıdaki bireyin iki homozigot ebeveyne ait ortalamalardan gösterdiği ortalama sapmadır. Dominantlık; eksik, tam ve üstün şeklinde olabilmektedir. Eğer heterozigot birey, homozigot ebeveynlerin ortalamasından fazla, fakat üstün olan ebeveyninden düşük ise eksik dominans, üstün ebeveynle aynı değerde ise tam dominans ve üstün ebeveyninden de yüksek değer alıyor ise üstün dominans olarak tanımlanmaktadır.

Melezlemenin en önemli avantajlarından birisi de genler arası bu tür oluşumlardır. Çünkü heterozigotluğun artışına bağlı olarak daha çok lokusta dominans etkinin ortaya çıkması, melezlerin sahip oldukları üstünlüğün en önemli kaynağıdır. Eğer diploid bireylerde genotip için dominantlık bir faktör ise bu durum direk o genin ortalama etkisi ile ilişkili olacaktır. Bir genin ortalama etkisi, o genin gen lokusunda eşini temsil eden diğer gen ile olan dominantlık ilişkisine bağlıdır. Örneğin, resesif yapıdaki bir allel gen dominant etkiye sahip bir gene eşlik ediyorsa heterozigot fenotip üzerinde etkisi olmaz. Kantitatif genetik bir genin ortalama etkisini populasyonun daha önce sahip olduğu yapısı ile dikkate alır. Bu sayede dominans etkiye sahip bir gen populasyonun genetik kompozisyonunu önemli ölçüde etkiler. Populasyonun sahip olduğu allel gen frekans düzeyi populasyonun ortalama etkisini değiştirir. Poligen sistemde diğer ilişki veya interaksiyonu oluşturan durum ise farklı lokuslardaki genler arası ilişkilerdir. Bu epistatik etki olarak tanımlanır.

$$G = A+D+I$$

Bu durumda genotipik değer, eklemeli etki (A, veya damızlık değeri), dominans etki (D) ve çoklu genler arası interaksiyonun yani epistatik etkilerin (I) toplamına eşittir.

3.4. Arı Islahında Başlıca Varyasyon Kaynakları

Bir karaktere ilişkin fenotip, genotip ile çevrenin ortak etkileri sonucunda şekillenir. Ölçülen karakterin iyi tanımlanması için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulur. Bu amaçla populasyon içerisindeki varyasyon düzeyi değerlendirilir. Bir bireye ait fenotipik varyans değeri genotipik varyans ile çevre varyansına ayrıldığı gibi bir populasyona ait fenotipik varyans da genotipik ve çevre varyansı olarak ikiye ayrılır.

$$V_P = V_G + V_E \text{ dir.}$$

Ancak, buradaki fenotipik varyansın esas kaynakları;

$V_P = V_A + V_D + V_I + V_E$ unsurlarından oluşur. Populasyona ait olan bu fenotipik değer aynı zamanda populasyonun fenotipik standart sapması cinsinden de ifade edilebilir.

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 \text{ olur. Burada } \sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 \text{ olur.}$$

Buradaki σ_G^2 , her çeşit etkilere (eklemeli, dominans ve epistatik) sahip genlerden ileri gelen genotipik değer farklılığıdır.

Böylece, fenotipik varyans (V_P), genotipik varyans (V_G) ile çevre varyansı (V_E)'nin toplamına eşit olur. Ayrıca, genotipik varyans (V_G) eklemeli etki (V_A), dominant ilişki (V_D) ve epistatik gen etkileri (V_I) toplamından meydana gelir.

Ölçümler bireyler üzerinde alınıp ortalamalar bireylerin meydana getirdiği populasyon için hesaplanır ise populasyonun fenotipik varyansına ilişkin değerler elde edilir. Ancak, çevre etkilerini veya çevre varyansını oluşturan kısma ait etkiler kesin bir şekilde belirlenip elemine edilememektedir. Bu mümkün olsaydı fenotipik varyansın geri kalan kısmı tamamen genotipik varyansa atfedilebilirdi. Çevre varyansını oluşturan kısım, araştırma veya denemelerin çok kontrolü şartlar altında yapılması durumunda asgariye indirilebilir. Şayet çevre varyansından kaynaklanan etki mümkün düzeyde azaltılır ise, genotipik varyanstan kaynaklanan kısmı tahmin etmek daha kolay olmaktadır. Bu nedenle deneme süresince besleme, kovan, ana yaşı, larva yaşı, iklim koşulları, ölçüm hataları ve özel ana etkisi gibi çevre varyansını oluşturan unsurlar dikkate alınır. Memelilerde dikkate alınan ve çevreyi oluşturan faktörlere ait ana etkiler bal arısı içinde geçerlidir. Ancak makro çevre (kesikli ve sürekli varyasyon gösteren faktörler) açısından türler arasında farklılıklar bulunur. Genotipik varyanstan kaynaklanan kısım tam kontrol edilir ise çevre etkisini oluşturan kısım tahmin etmek mümkündür. Bu iyi tanımlanmış genotip grupların değerlendirilmesiyle mümkündür. Buna örnek olarak ileri düzeyde akrabalı yetiştirilmiş bireyler veya ileri düzeyde saf yetiştirilmiş hatları göstermek mümkündür. Memelilerde her zaman yapılması mümkün olan bu ileri düzeyde saf hatların generasyonlar boyunca muhafazası işlemi, saf hatların korunmasındaki zorluklar ve ekonomik özelliklerini çabuk kaybetmeleri sebebiyle bal arılarında uygulanması daha zor olan bir durumdur.

Genotiple çevre arasındaki varyasyonun bir kısmı da interaksiyondan kaynaklanır. Bal arısı bu ilişkinin (korelasyonun) iyi bir örneğini gösterir. İşçi arı yaşamının önemli bir kısmını koloni ortamında geçirir ve bu ortamdaki şartlardan etkilenir. Bu daha çok koloninin sevk ve idaresini yapan arıların genetik yapıları ile ilişkilidir. Çevre ile genotip arasındaki korelasyon etkisi, genotipik varyasyonun bir parçası olarak kabul edilir. Çevre faktörlerinin farklı genotipler üzerindeki etkisini

tam olarak belirlemek mümkündür. Bunun için farklı genotiplerin farklı çevrelerdeki performansları çift yönlü varyans analizi ile değerlendirilir. Ayrıca, istatistik yöntemlerle genotiple çevre arasındaki interaksiyonu belirlemek, yeni bir bölge veya ülkeye getirilecek arı ırk ve ekotiplerinin tespiti açısından önem taşır. Eğer bir ırk veya ekotip bir coğrafik bölgeye uyum gösteremiyor ise çok önemli ekonomik özelliklere sahip olsa dahi önerilmemesi gerekmektedir.

3.4.1 Eklemeli Gen Etkisi

Kantitatif karakterlere ilişkin varyasyon kaynaklarından en önemlisi eklemeli genotip veya damızlık değeridir (V_A). Münferit genlerin ortalama etkileri toplamı, eklemeli etki olarak tanımlanır. Damızlık değer ise, münferit genlerin ortalama etkileri toplamının iki katıdır. Daha önceki bölümde de açıklandığı üzere fenotipik varyasyonunun başlıca bileşenleri;

$$V_P = V_A + V_N + V_E$$

$$V_N = V_D + V_I$$

$$V_A = V_P - (V_N + V_E) = V_P - [V_D + V_I + V_E] \text{ olur.}$$

Burada;

V_P = toplam fenotipik varyansı

V_A = genotipi oluşturan genlerin eklemeli etkilerini

V_N = genlerin eklemeli olmayan etkisi (V_D ve V_I)

(V_I) = epistatik etkilerinden kaynaklanan genotipik değer

V_E = çevre etkisine ilişkin varyansı göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlikte de görüldüğü gibi fenotipik varyans, eklemeli genotipik varyans (V_A), eklemeli olmayan genetik varyans (V_N) ve çevre varyanslarından (V_E) oluşur. Eklemeli genotipik varyans her zaman bu haliyle bulunmaz. Eklemeli genotipik varyans, eklemeli genotipik etkilerin sonucu olarak fenotipik varyansın bir kısmını oluşturur. Eklemeli genotipik varyansın toplam fenotipik varyanstaki oranına kalıtım adı verilir.

Kantitatif karakterlerin meydana gelmelerinde eklemeli genotipik varyans poligenlerin etkileri konusunda açıklayıcı durum ortaya koymaz. Poligenler, doğal yapılarında eklemeli etkiye sahip olabildikleri gibi dominans ve epistatik etkiye de sahip olabilirler. Eğer genetik varyansın tümü eklemeli etkili ise bu durumda fenotipik varyans eklemeli genotipik varyansa tekabül eder. Bu etki, ortak atalara sahip bireylerin fenotipik benzerlik düzeyleri ile akraba olmayanlar arasındaki fenotipik benzerlik derecelerinin mukayesesinden tahmin edilir. Dominant varyans, allel genler arasındaki dominantlık ilişkisinden kaynaklanan varyansı oluştururken, lokuslardaki genler arası ilişki ise epistatik varyansı oluşturur ve bu etki genel de düşük düzeydedir. Bunun sebebi dominant ve epistatik etkilerin gerek redüksiyon bölünme ve gerekse rekombinasyonda ortadan kalkma eğiliminde olmalarındandır.

Populasyona ait toplam varyans birçok bileşene ayrılır. Bu amaçla akrabalar arası benzerlikten yararlanarak eklemeli genetik varyans veya damızlık değeri tahmin edilir. Çevre varyansının etkisinden kaynaklanan kısmı belirlemek için akraba hatlardan yararlanır. Bireylere ait damızlık değeri tahmin edilir ve bu değer de kalıtım derecesinin belirlenmesinde kullanılır.

Kalıtım derecesi, uygulamaya konulan ıslah programının doğruluk düzeyini ortaya koyan en önemli ölçüdür. Çünkü ölçünün bu kısmı, eklemeli olmayan genetik yapıyı, yani dominant ve epistatik gen etkilerini kapsamaz. Bal arısında kantitatif karakterlere ait toplam genotipik yapıyı oluşturan

unsurlardan eklemeli olmayan gen etkilerini yani dominant ve epistatik gen etkilerinden ileri gelen kısımları birbirlerinden kesin olarak ayırmak kolay değildir. Bu nedenle çoğunlukla dominans ve epistatik etkiler birlikte değerlendirilir.

3.4.2. Damızlık Değer (DD)

Bir koloninin damızlık değeri, popülasyonu temsil eden bir grup koloni ile verdiği döllerin popülasyon ortalamasından sapmalarına ait ortalamanın iki katı olarak tarif edilmektedir. Buradaki sapma, damızlığın döllerine geçirdiği tüm genlerin ortalama etkileri toplamıdır.

$DD = b(P_{ij} - P_i)$ eşitliği yardımıyla belirlenir.

$b = rh^2$ veya birkaç döneme ait verilerden yararlanılacak ise $b = nh^2/1 + (n-1)r$ olur.

Bu durumda damızlık değeri,

$DD = nh^2/1 + (n-1)r \sum (P_{ij} - P_i)/n$ şeklini alır.

Burada;

DD = damızlık değeri

b = koloninin damızlık değeri ile fenotipik değeri arasındaki regresyon katsayısı

P_{ij} = j. hayvanın i. dönem fenotipik ortalaması

P_i = i. dönem popülasyonun fenotipik ortalaması

r = tekrarlama derecesi veya grup içi korelasyon katsayısı ($r = \delta^2_{ara}/\delta^2_{top}$)

h^2 = kalıtım derecesi

n = dönem sayısıdır.

Damızlık değerin tahminindeki isabet derecesi $\sqrt{h^2} = b$ kadardır. Yani kalıtım derecesinin kareköküne eşittir.

Koloninin kendine ait tek verimi varsa regresyon değeri $b = rh^2$, birkaç döneme ait verimleri varsa $b = nh^2/1 + (n-1)r$ olarak hesaplanır. Eğer bir koloninin kendine ait verimleri yok ise akrabalarına ait verimlerden yararlanılır. Bu durumda akrabalık derecesi (r) önem kazanır. Örneğin ana arının yerine kızına/kızlarına ait veri kullanarak damızlık değeri tahmin edilmek istendiğinde bunun miktarı, damızlık değeri ile fenotipik değeri arasındaki regresyon katsayısı $b = rh^2 = 1/2h^2$ kadardır. Koloninin kendine ait fenotipi kullanılacak ise $r = 1/2$, öz kardeşler için $r = 1/2$, süper kızkardeşler için $r = 3/4$ ve üvey kardeşler için $r = 1/4$ değerlerini alır.

3.5. Kolonide Fenotipik Benzerliğin Kaynakları

Pedigrili yetiştiricilik ve kontrolü çiftleştirme uygulandığında her yavrunun fenotipik değeri, ebeveynlerinden biri veya her iki ebeveynin ortalama değeri üzerinden belirlenir. Yavrunun ortalama genotipik değeri, ebeveynlerden herhangi birisinin damızlık değerinin (V_A) yarısına eşittir. Her iki ebeveyn değerlendirildiğinde ise ortalama değer aynı varsayımıyla doğru kabul edilir. Çünkü ortalama, ebeveynlerin her birisine ait değer kendisidir. Bu aynı zamanda popülasyon ortalamasına da tekabül eder. Bu nedenle döllerin ebeveynlerle olan benzerlik ilişkileri (kovaryansı) eklemeli etkinin (V_A) veya damızlık değerin yarısına ($1/2$ 'ne) eşittir. Regresyon katsayısı (b) hesaplandığında ise bu değer kovaryansın toplam fenotipik varyasyondaki oranını temsil eder. Böylece, regresyon katsayısı (b) kalıtım derecesinin (h^2) yarısı olan $1/2 V_A/V_P$ 'ye ve dolayısı ile $b = 1/2h^2$ 'ye eşit olur.

Üvey kardeşler için bu benzerliğin düzeyi, bunlar genelde tek ortak ebeveyne sahip oldukları için ortak ebeveynlerinin sahip olduğu genlerin genelde $1/4$ 'ünü ortak bulundurlar. Bu nedenle

kovaryansları yani ebeveyn ile dölleri arasındaki benzerlik düzeyi, sahip oldukları ortak ebeveynin damızlık değerinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır ($\frac{1}{4} V_A/V_P$ ve buradan $b = 1/4h^2$). Öz kardeşler için bu değer daha karmaşık bir yapı gösterir. Bu yavruların her biri, her bir ebeveynin sahip olduğu genlerin $\frac{1}{2}$ 'ni ortak olarak bulundurlar. Ayrıca, buna ilaveten bir tek lokusta $\frac{1}{4}$ oranında benzer allellere sahip olma şansları da bulunmaktadır. Bu olasılık kovaryansta $\frac{1}{2}$ oranındaki eklemeli etkiye (V_A) (damızlık değerine) ilaveten $\frac{1}{4}$ oranında dominans (V_D) etki sağlar. Bal arısı kolonisindeki süper kızkardeşlerde ise genlerin $\frac{1}{2}$ 'si haploid yapıdaki babadan gelir ve tümü benzerdirler. Bu nedenle genlerin ortak olma ihtimali $\frac{3}{4}$ dür.

Kolonideki bu kardeş gruplarından yararlanılmak istendiğinde önce Gruplar İçi Korelasyon Katsayısı (r_p) belirlenir ve bu değer kovaryansın belirlenen toplam fenotipik varyasyondaki kısmını temsil eder. Bundan dolayıdır ki üvey kızkardeşlerde Grup İçi Korelasyon Katsayısı (r_p) Kalıtım Derecesi (h^2)'nin $\frac{1}{4}$ 'üne ($h^2 = 4r_p$), öz (tam) kızkardeşlerde $\frac{1}{2}$ 'ne ($h^2 = 2r_p$) ve süper kızkardeşlerde ise $\frac{3}{4}$ 'üne ($h^2 = 4/3r_p$) eşit olur. Öz ve süper kızkardeşlerde dominans etki söz konusu değilse korelasyon katsayısı kalıtım derecesine eşit olur. Eğer dominant etki ayrı bir faktör ise korelasyon katsayısı kalıtım derecesinden $1/2$ oranından daha fazla olacaktır.

Akrabalık, benzerlik şartlarında oluşur. Bu benzerlik, akrabalar arası benzerliği artırırken diğer tarafta aileye grupları arası farklılığı da artırır. Daha da önemlisi bu benzerlik kalıtım derecesinin doğru tahmin etme düzeyini de artırır. Ana etki olarak kabul edilen öz kızkardeşler arası benzerlik dışındaki diğer benzerlik şartları göz ardı edilir. Koloni ortamı bal arısı için eşit ortak çevre olarak kabul edilir. Bu durumda kolonideki süper ve üvey kızkardeş popülasyonu da değerlendirilir. Biyolojik yönden farklı olan bu ortak çevrenin üzerinde çalışılan karakteri ne kadar etkilediği ise yapının tümü dikkate alınarak belirlenir. Bütün bu hesaplamaların dikkate alındığı temel popülasyon ile ilgili birçok varsayım mevcuttur. Örneğin, tesadüfi yetiştiriciliğin uygulandığı (şansa bağlı çiftleşmelerin gerçekleştiği) bir popülasyonda gen frekansının generasyondan generasyona değişmediği ve seleksiyonun popülasyondaki gen frekansını değiştirmedeği varsayılır.

3.5.1. Kalıtım Derecesi

Kalıtım derecesi (h^2), toplam fenotipik varyanstaki eklemeli genetik varyansın oranını ifade eden kısma denir. Bu dar anlamlı kalıtım derecesinin tanımıdır ve kantitatif nitelikteki karakterlerin tanımı için en önemli araçtır.

$$h^2 = V_A/V_P$$

Bu eşitlik herhangi bir karakteri etkileyen eklemeli etkiye sahip tüm genlerin genetik varyansla ilgili kısmını ifade eder. Kalıtım derecesinin büyüklüğü aynı zamanda birbirleriyle ilişkisi olan organizmalar arasındaki benzerliğin düzeyini ifade eder. Kantitatif karakterler için kalıtım derecesinin en önemli özelliği ise bireylerin gerçek damızlık değerlerinin belirlenmesinde çok güvenilir bir araç olmasıdır. Çünkü kalıtsallığı temsil eden bu oran, fenotipik varyasyonun genetik sebeplerden kaynaklanan kısmının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesidir. Düzeyi seleksiyonda genetik yönden değerlendirilecek kısmı oluşturur. Bu ölçü aynı zamanda ıslahta üzerinde çalışılan karakterin doğru seçilip seçilmediğine de ışık tutar. Eğer uygun olmayan ölçüm yöntemleriyle değerlendirme yapılır ise sonuçta çevre varyansı (V_E) yüksek olur. Bu uygulama eklemeli genetik etkiden dolayı kalıtım derecesi ile ilgili oranın düşük düzeyde tahmin edilmesine sebep olur ki bu genotipin tanımı için

istenmeyen bir durumdur. Dolayısıyla fenotipin uygun olmayan yöntemlerle değerlendirmesi sonuçta seleksiyon uygulamalarının yetersizliğine neden olur.

İslahta amaca ulaşmada bir yandan çevre koşullarının, bir yandan da kalıtsal yapının iyileştirilmesine çalışılır. Konuya bu açıdan bakıldığında kalıtım derecesi (h^2), bunlardan hangisine ve ne ölçüde önem verileceği hususunda ıslahçıya yol gösterir. Örneğin yüksek kalıtım derecesine sahip karakterler için güvenilir ve kalıcı olması sebebiyle genotip ıslahı önem kazanırken, düşük kalıtım dereceli karakterler için çevrenin iyileştirilmesine ağırlık verilir. Bu nedenle çoğunlukla popülasyona uygulanacak seleksiyon yöntemini kalıtım derecesi belirler.

Kalıtım derecesi (h^2) 0 ile 1 arasında değer alır. Eğer bu değer 0 ise karakterin kalıtsal nitelik taşımadığı, yani genetik yapının karakter üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını, şayet $h^2 = 1$ ise, buda özelliğin tamamen kalıtsal yapıdan kaynaklandığını ve tüm etkinin genetik yapı tarafından üretildiğini ifade eder. Örneğin, eğer koloninin bal verimine ilişkin kalıtım derecesi $h^2 = 0.16$ gibi bir değer almış ise, bu genelde karakterin düşük kalıtsallıkta olduğunu ifade eder. Arıda kalıtım derecesi genelde ekonomik özelliğe sahip karakterlerde daha düşük, renk, vücut büyüklüğü ve benzeri kalitatif karakterlerde ise daha yüksektir. Kalıtım derecesinin önemi sadece özel bazı karakterlerin tanımlanması için değil aynı zamanda popülasyon ve çevre şartları için önemli bir ölçüdür. Bu sayede hangi arı ırkının hangi çevrede veya hangi çevrenin hangi ırk için uygun olduğu konusunda yol gösterir. Çevresel varyans, organizmaların denemeye alındığı ortamda uygulanan sevk ve idare ile kültürel şartları kapsar. Çok değişken bir çevre kalıtım derecesinin düşük, sabit bir çevre ise yüksek olmasını sağlar. Kalıtsallığın genetik yapıdan kaynaklanan kısmını popülasyonun sahip olduğu gen frekansları etkiler. Küçük popülasyonlar şansa bağlı çiftleştirildiklerinde ve uzun süre muhafaza edildikleri zaman büyük popülasyonlardan genetik yönden daha homojen bir yapı gösterirler. Bu küçük popülasyonlar çoğunlukla düşük kalıtım derecesi gösterirler.

3.5.2. Bal Arılarına Özgü Kalıtım

Kalıtım derecesi, birbirleriyle akrabalık ilişkisi bulunan bireylere ait karakterlerin mukayesesi üzerinden hesaplanır. Kalıtım derecesinin düzeyi, bu bireyler arasındaki kovaryans, regresyon veya korelasyondan tahmin edilir. Bu yaklaşım daha çok diploid gen yapısındaki popülasyonlar için geçerlidir. Bal arısı ise haplo-diploid gen yapısı yanı sıra kolonide farklı alt familyalar ve cinsiyetteki bireylerden oluşur. Bu nedenle bal arılarında kalıtım derecesi belirlenirken özel bazı düzenlemelere ihtiyaç vardır. Bu düzenlemeleri gerekli kılan nedenler ise şunlardır:

- Haplo-diploid yapı, birbirleriyle akraba olan bireyler arasındaki akrabalığın düzeyini değiştirir. Kızkardeş işçi arılar arasındaki akrabalık derecesi, bunların ana arılarının çiftleştiği erkek arı sayısı ve bu erkek arıların kaynağına göre değişir. Bütün bu farklılığa rağmen bal arısında kantitatif karakterlerin değerlendirilmesi diploid bireylerdeki gibi kabul edilmektedir. Çünkü arıda uygulanan çiftleştirme sistemi tümüyle dişi bireyler (ana arılar) arası yapılmaktadır.

- Bal arılarındaki ikinci önemli farklılık ise benzer cinsiyetin farklı fenotipik yapıda oluşabilmesidir. Dölllenmiş yumurta ve larva farklı beslenme koşullarına bağlı olarak farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Tüketilen arı sütü miktarı bireyin farklı özellik ve fonksiyonlar kazanmasına sebep olabilir. Karakter tümüyle ana veya işçi arı tarafından aynı veya farklı yapıda oluşturulabilir. Bu durum epistatik etkiden kaynaklanan bir varyasyon olarak düşünülür.

▪ Arılar, aile bireylerinin birbirleriyle belirli düzeylerde akraba oldukları koloniler halinde yaşarlar. Diploid organizmalarda ortak çevreden dolayı artan kovaryans değerlendirmeye alınır ve bu durum daha çok özel analık etkisinin söz konusu olduğu şartlarda görülür.

▪ Bal arısında bazı önemli karakterler koloniyi oluşturan bireylerin ferdi davranışlarından çok koloniyi oluşturan tüm bireylerin ortak davranışları sonucu meydana gelir. Buna en iyi örnek koloninin bal verimi gösterilebilir. Bal verimi genelde koloninin bir üretim sezonu boyunca kazandığı kovan ağırlık artışı veya balın tartılarak tespiti ile belirlenir. Akrabalı yetiştirilmiş ana arılar tek erkek arıdan alınan sperm ile döllendiğinde durum daha iyi tespit edilebilir. Böyle bir çiftleşmeden benzer genotipe sahip işçi arılardan oluşan bir populasyon meydana gelir. Bu durumda koloninin belirlenen bal verimine ilişkin davranışı tüm benzer genotiplerin ortak ürünüdür. Bu yöntem farklı karakterlerin belirlenmesinde güvenilir bir yoldur.

3.5.3. Bal arılarında Kalıtım Derecesini (h^2) Tahmin Yöntemleri

Kalıtım derecesini hesaplamak amacıyla diploid gen yapısındaki populasyonlarda genetik olarak benzeyenler arasındaki kovaryans, regresyon ya da korelasyon değerlerinden yararlanılmakta ise de, bir önceki başlık altında da belirtildiği gibi arılardaki haplo-diploid genetik yapı buna imkan vermemektedir. Çünkü koloniyi oluşturan bireyler arası genetik benzerlik ya da akrabalık düzeyi ana arının çiftleştiği erkek arı sayısına ve genotipine bağlı olarak çok farklı yapıda oluşmaktadır. Bu nedenle ebeveyn yavru regresyonu yöntemiyle kalıtım derecesini belirlemek çok güvenilir değildir. Kalıtım derecesi öncelikle varyans analiz yöntemlerinden yararlanılarak belirlenir. Bal arılarında kalıtım derecesini (h^2) belirlemeye yönelik olarak geliştirilmiş bazı yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

1. Kalıtım derecesini belirlemenin en kolay yöntemi, homojen olmayan veya seleksiyon uygulanmamış ve tesadüfi çiftleştirme (yetiştiricilik) uygulanan bir populasyon ile saf yetiştiricilik uygulanmış bir populasyonun benzer ortamlarda davranış ve verimlerini ölçmektir. Buradaki ilk populasyon toplam fenotipik varyansın (V_{TP}) tahmin edilmesini, ikinci populasyon ise bireylerinin aynı genotipte olmaları sebebiyle çevre şartlarından kaynaklanan varyansı (V_{EP}), yani tesadüfi hatayı tahmin edecektir. Bu iki populasyonun fenotipik varyansları arasındaki fark ise ($V_A = V_{TP} - V_{EP}$) eklemeli genetik değeri temsil eder. Kalıtım derecesi ise doğrudan eklemeli gen etkilerinden kaynaklanan varyansın toplam fenotipik varyansa oranı hesaplanarak ($h^2 = V_A / V_{TP}$) belirlenir. Burada, V_A = Eklemeli gen etkilerinden kaynaklanan varyansı, V_{TP} = toplam fenotipik varyansı ifade eder.

2. Kalıtım derecesini belirlemenin diğer bir yolu ise, ebeveyn ile yavru arasındaki regresyon katsayısından yararlanmaktır. Bu amaçla ebeveynlere ait verilerle bunların döllerine ait veriler değerlendirilerek regresyon katsayısı (b) hesaplanır. Eğer bu döllerin tek ebeveyne göre regresyonu ise buradan elde edilecek regresyon katsayısı (b) kalıtım derecesinin $1/2 h^2$ 'si kadardır. Eğer her iki ebeveyne ait ise bu gerçek kalıtım derecesinin (h^2) ölçüsüne tekabül eder. Yukarıda da anlatıldığı gibi haplo-diploid yapı sebebiyle bazı araştırmacılar bu yöntemle kalıtım derecesini belirlemenin güvenilirlik düzeyinin düşük olduğunu vurgulamaktadırlar.

3. Ana ve işçi arılarda tespit edilecek bir karakter için, anaları ebeveyn analarla ve aynı ebeveyn ana gruplarından gelen işçi arıları uygun çiftleştirme yöntemlerinden yararlanarak birbirleriyle karşılaştırmak mümkündür. Bu iki regresyon değeri arasındaki farklılık çevresel, dominantlık ve epistatik etkilerin (V_A , V_D ve V_I) büyüklüğünü gösterir. Kalıtım dereceleri, ana arı gruplarından gelen regresyon değerleri aynı ana arıdan gelen işçi arı regresyon değerlerinden daha

yüksek olur. Bu sistemin tek sınırlayıcı tarafı cinsiyettir. Çünkü istatistikî işlemlerin uygulanabilmesi için fenotipik varyansın her iki cinsiyet için eşit olması zorunluluğu bulunmaktadır.

4. Akraba grupların fenotipik benzerliklerinden yararlanılarak kalıtım derecesini belirleme genelde tercih edilen bir diğer yöntemdir. Bu amaçla varyans analizinden yararlanılır. Ancak bal arılarındaki haplo-diploid yapı, durumu diploid yapıdaki canlılardan daha farklı kılmaktadır. Çünkü arı kolonisinde akrabalık ilişkisi ana arının çiftleştiği farklı ve aynı kolonilerden gelen erkek arı sayısına bağlı olarak değişmektedir ve bu durum dikkate alınmak zorundadır. Akraba gruplardan oluşan bir popülasyonda bu gruplar içindeki koloniler birbirlerine fenotipik veya genotipik olarak ne kadar fazla benzerlerse, akraba grupları arasındaki fenotipik veya genotipik farklılık da o kadar artar. Saf hatların her birini oluşturan koloniler (ana arılar) tamamen aynı genotipte oldukları için hatlar arası farklılığın tümü genotipik farklılığa atfedilir. Bunun toplam varyansa oranı ise kalıtım derecesi olarak kabul edilir. Baba bir üvey kızkardeş gruplarından oluşan bir popülasyonda, üvey kardeşlerin birbirleriyle genotipik benzerlik düzeyleri $\frac{1}{4}$ olduğundan, üvey kardeş grupları arasındaki farklılığın (δ^2_{ara} 'nın) da $\frac{1}{4}$ 'ü genotipiktir. Buna göre δ^2_{ara} 'nın 4 katı popülasyondaki genotipik varyansın tümünü açıklar ve bunun toplam varyansa oranı ise kalıtım derecesini (h^2) verir. Bu ilişkiyi ifade eden eşitlik ise;

$$h^2 = 4 \delta^2_{ara} / \delta^2_T \text{ dir.}$$

Öz kızkardeşlerden oluşan popülasyonlarda ise öz kızkardeşlerin genotipik benzerlikleri $\frac{1}{2}$ olduğundan bu gruplar arası varyansın $\frac{1}{2}$ 'si genotipiktir. Bu bireylerde kalıtım derecesi ise;

$$h^2 = 2 \delta^2_{ara} / \delta^2_T \text{ kadardır.}$$

Arı kolonisinde aralarında akrabalık ilişkisi bulunan bir diğer grup ise süper kızkardeşlerdir. Bu gruptaki bireylerin genotipik benzerlikleri $\frac{3}{4}$ olduğundan bu gruplar arası varyansın $\frac{3}{4}$ 'ü genotipiktir. Buna göre δ^2_{ara} 'nın $\frac{4}{3}$ katı popülasyondaki varyasyonu açıklamakta ve bu durumda kalıtım derecesi;

$$h^2 = \frac{4}{3} \delta^2_{ara} / \delta^2_T \text{ kadar olacaktır.}$$

Eğer kardeş gruplarındaki tüm koloniler bir arada ve aynı çevre şartlarında tutulur ise hata unsurları olarak sözü geçen tesadüfî çevre faktörleri ancak özkardeş grupları içerisinde, yani özkardeş kolonileri arasındaki farklılık kadar olur. Bunun da ölçüsü δ^2_E 'dir. Tüm bu kardeş gruplarından oluşan popülasyonlarda hesaplanan kalıtım derecesi, akrabalığın durumuna bağlı olarak belirli düzeylerde eklemeli etki, belirli düzeylerde dominantlık ve belirli düzeylerde de epistatik etki kaynaklıdır. Bu nedenle hesaplanan kalıtım derecesinin Dar ve Geniş anlamlı olduğu bilinmelidir. Çünkü öz ve üvey kardeş gruplarında dar anlamlı kalıtım derecesinin başlıca kaynakları birbirlerinden farklı ve bunların miktarları da değişebilir. Örneğin, özkardeş gruplarında kalıtım derecesinin gruplar arası ve gruplar içini oluşturan başlıca bileşenleri şunlardır;

$$\delta^2_{ara} = \frac{1}{2} \delta^2_A + \frac{1}{4} \delta^2_I + \frac{1}{4} \delta^2_D$$

$$\delta^2_{iç} = \frac{1}{2} \delta^2_A + \frac{3}{4} \delta^2_I + \frac{3}{4} \delta^2_D + \delta^2_E$$

$$\delta^2_T = \delta^2_A + \delta^2_I + \delta^2_D + \delta^2_E \text{ 'dir.}$$

Bu durumda kalıtım derecesi;

$$h^2 = \delta^2_A + \frac{1}{2} \delta^2_I + \frac{1}{2} \delta^2_D / \delta^2_A + \delta^2_I + \delta^2_D + \delta^2_E \text{ olur.}$$

Bal arılarında kalıtım derecesinin kardeş (öz ve üvey) gruplarına göre varyans analiz yöntemiyle tahmin edilmesi için genelde birçok erkeğin (erkek anası) her biri tesadüfi olarak birçok dişi (ana arı anası) ile çiftleştirilir ve her bir dişiden gelen döllerin fenotipik değerleri ölçülür (Tablo 21).

Değerlendirmeye alınan bireyler öz ve üvey kızkardeş gruplarından oluşur. Varyans analizinde fenotipik varyans, erkekler (babalar) arası, aynı babayla çiftleşen dişiler (analar) arası ve aynı dişi (ana)'nin döller arası kısımlarına ayrılır. Varyans, onu meydana getiren babalar, analar, yavrular içi (hata) ve genel kareler toplamı değerlerinden hesaplanır. Kareler toplamlarına ilişkin ortalamalar kendilerine ait serbestlik derecesine bölündüğünde kareler ortalamaları, yani bileşenlere ait varyanslar elde edilir. Bu değerlerle ortalama kalıtım derecesi (h^2), baba (h^2_b) ve ana (h^2_a) için veya ikisinin kombinasyonu üzerinden $(h^2_b + h^2_a)/2$ belirlenir. Burada uygulanan varyans analiz yöntemi aslında iç-içe gruplar yöntemidir ve kalıtım derecesinin (h^2) buradaki başlıca değerleri varyans unsurlarına tekabül etmektedir.

Kalıtım derecesinin toplam varyanstaki değeri;

$$\sigma^2_{(T)} = \sigma^2_{(b)} + \sigma^2_{(a)} + \sigma^2_{(i)}$$

$$h^2(a) = \sigma^2_{(E)} + i \sigma^2_{a(b)}$$

$h^2(b) = \sigma^2_{(E)} + i \sigma^2_{a(b)} + bi\sigma^2_a$ kadardır. Buradaki eşitliklerden yararlanılarak öz ve üvey kardeş grupları için kalıtım derecesi (h^2) değerleri hesaplanabilir.

Öz ve üvey kızkardeş familyalarının güvenilir biçimde karşılaştırılması için karakterin doğru grupta ölçülmesi gerekir. Ölçüm ya ana arıda ya da işçi arılarda yapılır, her iki grupta birlikte yapılmaz. Çünkü kız kardeş ana arıların temsil ettikleri kolonilerdeki işçi arılar arasındaki akrabalık ilişkisi incelendiğinde bunların birbirleriyle kardeş değil de kuzen oldukları görülür. Bu amaçla tesadüfi seçilmiş bir baba-ana grubu ile yine tesadüfi seçilmiş bir ana-ana grubunun tesadüfi çiftleştirilmesi yöntemi önerilir.

Tablo 21. Öz ve üvey kızkardeş familyalarının fenotipik varyans unsurları esas alınarak kalıtım derecesinin (h^2) varyans analizi ile hesaplanması

VK	SD	GKT	KO	h^2	EKO
BA (b)	a-1	KTBA	KTBA/a-1= $\{\sigma^2_{(b)}\}$	KO(b)-KO(a)/dk	$\sigma^2_{(E)} + i \sigma^2_{a(b)} + bi\sigma^2_a$
AABİ (a)	a(b-1)	KTAA	KTAA/a(b-1)= $\{\sigma^2_{(a)}\}$	KO(a)-KO(i)/k	$\sigma^2_{(E)} + i \sigma^2_{a(b)}$
Aİ (i)	ab(i-1)	KTYİ	KTYİ/ab(i-1)= $\{\sigma^2_{(i)}\}$	KO(i)	$\sigma^2_{(E)}$
Genel	abi-1	KTG	KTG/abi-1= $\{\sigma^2_{(T)}\}$		$\sigma^2_{(b)} + \sigma^2_{(a)} + \sigma^2_{(i)}$

VK: Varyasyon kaynağı, BA: Babalar arası, AABİ: Analar arası babalar içi, Aİ: Analar içi, d: ana arı sayısı, K: her ana grubundaki döl sayısını gösterir (Collins, 1986; Düzgüneş ve ark., 1987).

Kalıtım derecesinin tahmini için en güvenilir yöntem bu kardeş gruplarından yararlanmaktır. Eğer çiftleştirme bir tek erkek arı ile yapılmış ise, bu durumda varyans analizinden kalıtımı (h^2) tahmin etmenin en güvenilir kaynağı varyansta babaya ait bileşenin tespitidir. Şayet bir babayı temsil eden ana arıdan kullanılan 20'den fazla erkek arıdan alınıp karıştırılan semen ile dölleme yapılır ise, bu durumda kalıtım derecesini tahmin etmek için her iki gruptan yararlanılır. Çalışılan konu bir koloni davranışı ise bu durumda her bir çiftleşmedeki baba sayısına bakılmaksızın sadece babalar arası varyans unsurlarından yararlanılır.

Tablo 22. Öz ve üvey kızkardeş familyalarının fenotipik varyans unsurlarından yararlanarak kalıtım derecesi (h^2)'nin hesaplanması.

Tahmin Edilen	h^2 Hesaplama Yöntemi
$H^2_{(baba)}$	$4\sigma^2_{(b)}/\sigma^2_{(T)}$
$H^2_{(ana)}$	$4\sigma^2_{(a)}/\sigma^2_{(T)}$
$H^2_{(ana+baba/2)}$	$2(\sigma^2_b + \sigma^2_a)/\sigma^2_{(T)}$

b= babalara ait, a= analara ait ve $h^2(k)$ = ana ve baba kombinasyonunun ortalama kalıtım derecesi, $\sigma^2_{(T)}$ =Toplam varyans (Collins, 1986).

Yumurtlama kapasitesi gibi verimi etkileyen özellikler çok sayıda gen tarafından determine edilir ve kalıtım derecesi düşüktür ($h^2 = 0,16$). En yüksek kalıtım dereceli değerler daha çok vücut rengi, vücut büyüklüğü ($h^2 = 0,53-0,92$) gibi az sayıda gen tarafından determine edilen morfolojik karakterlerde mevcuttur. Bal verimi kalıtım derecesi ise birçok çalışmada 0.23 ile 0.76 arasında değişen düzeylerde değer almıştır.

Kalıtım derecesinin tahmini değeri, bir populasyon için farklı bir çevrede daha farklı veya farklı populasyonlar için aynı çevrede daha farklı olabilmektedir. Çevresel değişkenlik çalışılan populasyonun adaptasyon başarısına dayanır. Çok değişken çevre kalıtım derecesini azaltırken homojen bir çevre ise artırır. Küçük populasyonlar, uzun zaman için sürdürülen ıslah çalışmaları sonucunda büyük populasyonlara göre genetik olarak çok daha homojen olabilirler. Genetik çeşitliliğin az olmasından dolayı daha düşük kalıtım derecesi değerleri gösterebilirler. Kalıtım derecesinin güvenilir olması için standart hata değerinin iki katından büyük olmalıdır.

Burada açıklanmaya çalışılan kalıtım derecesini belirleme yöntemlerinin tümü arılarda yapay tohumlama uygulamaları ile mümkün olabilmektedir.

4. Seleksiyon

Öncelikle seleksiyon, populasyonda mevcut koşullarda veya çevrede bizim istediğimiz davranış veya performansı sergileyenlerin seçilimi ve gösteremeyenlerin ise populasyondan uzaklaştırılmalarıdır. İslah kaynaklarında seleksiyon terimi, gelecek generasyonun ebeveynlerini belirlemek olarak tanımlanırken, Ruttner (1983) seleksiyonu, en iyileri çoğaltmak, kötülerini atmak ya da var olan koloniler arasından iyilerini seçmekten ayrı olarak, iki farklı soyun ya da hattın ekonomik değer taşıyan veya üstün kombinasyonlar meydana getiren genlerini birleştirerek verim artışı sağlamak amacıyla yapılan işlemlerin tümü olarak tanımlamıştır.

Doğa ile iç içe olan ve onunla mükemmel şekilde bütünleşmiş olan bal arısı için çevre koşullarının iyileştirilmesi, daha çok mikro çevre olarak nitelediğimiz kovan iç koşullarının iyileştirilmesini kapsar. Sadece bu mikro çevreyi kontrol altına almak verimliliği arttırmak için yeterli değildir. Çünkü verime dönüştürülecek ham madde kaynakları (nektar, polen) doğadadır. Ayrıca, yine makro çevre faktörleri olarak kabul ettiğimiz güneş ışınlarının şiddeti, yoğunluğu, nem, sıcaklık, yağış miktarı, gece ile gündüz arasındaki ısı farklılığı, bir bölgedeki flora potansiyeli, çeşitliliği, nektar ve polen salgılama süresi ve hava hareketi (rüzgar) gibi çevresel faktörlere insanoğlunun mevcut koşullarda tümüyle müdahale etme veya değiştirme şansı mümkün değildir. İklim koşullarının ve coğrafik yapının bir bölgedeki bitki gelişimi, polen ve nektar üretimi üzerindeki etkisi dikkate alındığında verimli veya ekonomik arı yetiştiriciliği ancak o bölgenin mevcut koşullarında verimli kolonilerin değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle mevcut koşullarda seleksiyon bir yerde de zorunlu bir hal alır.

Arı ıslahında amaç, istenen özellikleri determine eden genleri çalışılan ırk veya hatlarda bir araya getirerek bu özelliklerin belirgin hale gelmesini sağlamak ve aynı zamanda istenmeyen özellikleri determine eden genleri de sürüden elemine etmektir. Coğrafik ırkların doğal ekolojilerinde en iyi genotipleri temsil ettiği düşünülse de bu her zaman doğru olmayabilir. Doğal seleksiyon ile oluşmuş bir genotip, bölgeye iyi adapte olmuş, yüksek yaşama gücü ve üreme etkinliği gösterebilir. Ancak mikro çevrenin olabildiğince iyileştirildiği koşullarda arıcılar ekonomik yönden arzuladıkları karakterleri doğal seleksiyon sonucu oluşmuş bu ırk ve ekotiplerde göremeyebilirler. Doğal seleksiyonla oluşmuş bir populasyon üstün karakterlere sahip olsa bile bunun işlenip ortaya çıkarılması ve düzeyinin sürekli artırılması ıslah açısından gereklidir. İyileştirilen çevre düzeyine paralel olarak genetik yapının da ıslah edilmesi zorunludur. Çünkü bal veriminin %75'i makro ve mikro çevre faktörleri ve %25'i ise genetik yapı tarafından kontrol edilmektedir.

4.1. Seleksiyonun Uygulanması

Seleksiyon her ne kadar gücünü seçilen karakterin kalıtsal niteliğinden alıyor ise de karakterin yetiştirici tercihini yansıtmaması ve ekonomik nitelikte olması da büyük önem taşır. Seleksiyon, kalıtsal farklılığın olduğu her arı populasyonunda uygulanabilir. Farklılık genelde tüm coğrafik bölgeler ve aralıklar arasında ve içinde mevcuttur. Hatta saf ırklarda bile farklılıklar vardır. Aynı ırk içinde, aynı populasyonda ve aynı aralık içerisinde mevcut koloniler arasında da farklılıklar vardır. Buna en iyi örnek olarak *Apis mellifera carnica* ırkı verilebilir. Bu ırkın birçok karakter ve verimliliğinde büyük farklılıklar belirlenmiştir. Koloniden koloniye farklılıklar mevcuttur. Örneğin bu arı ırkında vücut ve kıl rengi açık tondan koyuya kadar farklılık gösterir. Kubital indeks değeri 2.5 ile 3.5 skala değerleri arasında değişir. Bazı koloniler çok iyi yavru üretirken bazıları ise daha az yavru üretirler. Bazı koloniler kontrol edilmeyecek düzeyde oğul eğilimi gösterirken, bazıları hiç oğul eğilimi göstermemektedirler. Bazıları erken ilkbaharda çok hızlı gelişme eğilimi gösterirken, bazılarında böyle bir gelişme görülmemektedir. Bu nedenle ırk seleksiyonunda, bölgesel şartlara adapte olmuş populasyonlar doğal seleksiyondan dolayı ana kaynağı oluştururlar. Doğal seleksiyon nedeniyle bir bölgedeki populasyon içi varyasyon coğrafik olarak uzak ırklar ve populasyonlar arasındaki varyasyondan daha azdır. Populasyondaki genetik varyasyon, ana arının çiftleştiği erkek arı sayısına bağlı olarak artar. Seleksiyon için koloni içinde genetik farklılığın az ve koloniler arasında ise yüksek olması istenir.

4.2. İslah Kolonilerinin Özellikleri ve Seçimi

İslah programına iyi bir materyalle başlanır. İslah edilecek kolonilerin değeri, önce bu kolonilerin kendi performanslarının ortaya konulmasıyla belirlenir. Ancak daha da önemlisi üzerinde durulan karakterin ebeveynden yavruya geçecek nitelikte olmasıdır. Bu durum koloninin herhangi bir ortamda ortaya koyduğu performans değerinden daha önemlidir. Kalıtsal olmayan karakterin ıslahta önemi yoktur. Esas olan tescil edilmiş üstünlüğün gelecek döl generasyonuna azalmadan sürekli artış göstererek aktarımını sağlamaktır. Genetik materyalin ekonomik değeri ile ıslah değeri arasında mutlak bir fark bulunmalıdır. Bir kombinasyon olan melezleme her zaman yüksek ekonomik değere sahip olmasına karşın çok ender durumlarda ıslah değeri taşır.

İslah populasyonunun oluşturulmasında tek koloniden yararlanmak yerine mümkün olduğunca fazla sayıda koloniden yararlanılır. Aralıktaki tüm koloniler değerlendirmeye alınır ve karaktere ilişkin veri alma bitinceye kadar (2-3 yıl) koloniler muhafaza edilir. Kolonilerin ana arı yenileme ve oğula

gitme gibi davranışsal özellikleri yakından takip edilir. Bu sistem sayesinde her bir koloninin ana arısı ile birlikte bir iki üretim sezonunu tamamlaması ve gerçek performansını ortaya koymasına imkân verilir. Ayrıca, pedigrîye göre seçim her zaman tercih edilir. Bu uygulama sayesinde ebeveynlerinin ve kardeşlerinin verim ve davranışları bilinen kolonilerin daha güvenle seçilme şansı olur. Kayıt sistemi oluşturulmamış bir arılıkta seleksiyonun uygulama şansı çok düşüktür. Diğer tarafta her koloni ana arısının hangi koşullarda (doğal veya yapay tohumlama) ve nasıl bir baba genotipi ile çiftleştiği mutlaka bilinmelidir. Diğer önemli bir husus ise arılık içerisindeki her koloniye her türlü çevre açısından eşit şans tanınmasıdır.

4.3. Seleksiyonda Karakter Seçimi

Günümüz arı ıslahında, seleksiyon yöntemlerinin uygulanmasında karakter seçiminde genelde yetiştirici tercihleri ön planda tutulur. Bu tercihler çoğunlukla bölgelere, ülkelere ve yapılan yetiştiricilik şekline bağlı değişir. Daha önceleri seleksiyon çalışmalarında bal verimi, ilkbahar gelişimi, koloni işçi arı mevcudu, çerçeve üzerindeki boş yavru gözü sayısı ve hırçınlık gibi karakterler değerlendirilirken hastalıkların yaygınlaşması ve aşırı ilaç kullanımının üründe yarattığı olumsuzluklar ve buna benzer sorunlar sebebiyle son yıllarda temizleme davranışı önem kazanmıştır. Seleksiyonda en fazla önemsenen karakterlerden bazıları Tablo 23’de verilmiştir.

Karakterlerin önem sıralaması daha da önce bahsedildiği gibi farklılık gösterebilmektedir. Bazen hırçınlık ve oğul eğiliminin ilk sırada, daha sonra peteğe veya yuvaya bağlılığın ikinci sırada, kovan temizleme davranışının üçüncü sırada ve ilkbahar gelişimi, koloni işçi arı mevcudu ve kışlama yeteneği gibi özelliklerin ise en son sırada yer tercih edildikleri ve bal veriminin ise hiç değerlendirilmeye alınmadığı görülmektedir. Ancak ıslahta karakterin sıralamadaki önemini, genelde yetiştirici tercihleri ve ekonomik durum belirler. Bu nedenledir ki karakterlerin öncelik sıralanışı, seleksiyonda indeks yöntemi uygulandığında da bu önemini muhafaza eder.

Tablo 23. Seleksiyonda değerlendirilecek bazı karakterlerin öncelik ve bunların önem seviyeleri

Karakter	Verilecek Puan				Önemi
	4	3	2	1	
Yaşama Gücü	Çok iyi	İyi	Normal	Zayıf	***
Uysallık	Çok sakin	İyi	Hırçın	Çok hırçın	**
İlkbahar Gelişimi	Çok iyi	iyi	Normal	Yetersiz	****
Hijyenik Davranış	Çok iyi	İyi	Orta	Çok hassas	****
Oğul Eğilimi	Çok fazla	Fazla	Normal	Yok	****
Bal Verimi	Çok iyi	İyi	Orta	Düşük	***
Kışlama Yeteneği	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	*
Koloni Gelişimi	Çok güçlü	Güçlü	Normal	Zayıf	*

Sürü birden fazla karakter yönünden ıslah edilecek ise her karakter ve her koloni için ortalama bir indeks değerleri belirlenir ve bunun üzerinden seleksiyon uygulanır. Aynı koşullarda ve her türlü çevre açısından eşitliğin sağlandığı kolonilerin her bir arıcılık sezonu için her karakteri ölçülerek tespit edilir. Karakter ölçümünde de eşit uygulama (saat, tartım şekli, tartım veya ölçüm zamanı gibi) yapılmalıdır. Öncelikle her karakter için ortalama değerler hesaplanır. Örneğin bal verimi sezon içerisinde hasat edilen toplam bal verimi, koloni ergin arı miktarı veya populasyon gücü koloninin farklı tarihlerde tespit edilen arılı çerçeve sayısının ölçüm sayısına bölünmesiyle elde edilen ortalama değerdir. İslah kolonilerinin sezon içerisinde tüm karakterleri için bu ölçüm ve gözlemler üzerinde ortalamaları belirlenir. Sezon sonunda her karakter için ve her koloni için ortalama indeks değerleri

hesaplanır. Moritz, Rinderer ve Ruttner gibi araştırmacılar tarafından farklı indeks belirleme yöntemleri geliştirilmiştir. Aşağıda bu indeks yöntemlerinden birisi anlatılmıştır.

Karakter İndeksi: Her koloninin her bir karakteri 5 puan üzerinden değerlendirilir. Her bir karakter için arılıkta o yıl ölçülen en yüksek değer 5'e bölünerek elde edilecek birim değer 1 olarak kabul edilecektir. Daha sonra bu karaktere ait ortalama bulunan birim değere bölünerek indeks hesaplanacaktır. Örneğin ıslah edilecek koloniler arasında en yüksek bal verimi 40 kg ise bal verim karakterine ilişkin indeks değeri $40:5=8$ olacaktır. Daha sonra diğer tüm kolonilerin bal verim indeks değerleri bunun üzerinden hesaplanacaktır. Denemedeki koloni numarası 49 olan bir koloninin o sezonda bal verimi 20 kg ise bu koloninin bal verim indeksi: $20:8=2.5$ olacaktır.

Koloni indeksi: Her bir koloni için her sezonda her bir karakter için hesaplanan indeks değerlerinin toplamıdır. Örneğin 49 numaralı koloninin bal verim indeks değeri 2.5, ergin arı indeks değeri 1.8, erken ilkbahar gelişimi indeks değeri 2.2 ve hijyenik karakter indeks değeri 2.0 olarak hesaplanmış ise bu koloninin (Z) koloni indeks değeri $=2.5+1.8+2.2+2.0=8.5$ olacaktır.

Bu aşamadan sonra seleksiyon ve yöntemleri uygulanacaktır. Denemedeki tüm koloniler en yüksek ortalama indeks değerinden en düşüğe göre sıralanır ve gelecek generasyonun ebeveynlerini oluşturacak koloniler hedeflenen amaç ve ihtiyaca göre buradan seçileceklerdir.

4.4. Seleksiyonda Başarı

Uygulanan seleksiyon yönteminin başarı düzeyini belirlemek üzere kantitatif genetikten yararlanılır. Yöntemin etkisi, generasyondan generasyona izlenir. Populasyonun, ortalama, varyans, kovaryans ve bunun gibi ıslah parametreleri hesaplanarak seleksiyonla gen frekanslarında meydana gelecek değişimler belirlenir. Gen frekanslarında meydana gelen değişimin nedeni seleksiyonun kendisi değil seleksiyonla birlikte uygulanan diğer bazı işlemlerdir.

Ebeveyn olarak seçilen kolonilerin verim bakımından arılıktaki diğer kolonilerin ortalamasına olan üstünlüğüne seleksiyon üstünlüğü (i) adı verilir. Bu üstünlük aslında seleksiyona olan tepkinin düzeyi ve yanıtıdır. Bu tepki ile ilgili veri seleksiyon uygulamalarında bir sonraki generasyondan elde edilir.

Seleksiyon üstünlüğünün sadece kalıtım derecesi (h^2) kadar olan kısmı ileriki generasyonlara geçer ki bu da genotipik ilerleme olarak ifade edilmektedir.

Genetik ilerleme $\Delta G = i \times h^2$ eşitliği yardımıyla belirlenir.

Burada;

i = seleksiyon üstünlüğü

h^2 = kalıtım derecesi katsayısı.

Genetik ilerlemenin her generasyon başına düşen miktarına ise seleksiyon etkinliği adı verilir. Seleksiyon etkinliği $G = [(P_1 - P_0)/2] \times h^2 / y$ eşitliği yardımıyla belirlenir. Burada;

P_1 = selekte edilen kolonilerin fenotip ortalaması

P_0 = seleksiyon uygulanan arılıktaki tüm kolonilerin fenotipik ortalaması

y = generasyonlar arası süredir.

Seleksiyon etkinliği, kalıtım derecesi (h^2) ile seleksiyon üstünlüğünün (i) büyüklüğü ve generasyonlar arası sürenin (Y) kısalığı oranında artar. Kalıtım derecesi, seleksiyona olan tepkiyi tahmin etmek üzere kullanılır. Kalıtım derecesine ilişkin değer sadece bir generasyon için geçerlidir.

Bir fenotip için güvenilir kalıtım derecesinin tahmini birkaç (5-10) generasyondan sonra mümkündür. Bu sürede belirlenen değer standart hal alır. Kalıtım derecesinin belirlenen değeri belirlendiği o çevre için geçerlidir. Buradaki h^2 gerçek kalıtsallığı temsil eder.

4.5. Seleksiyonda Kalıtım Derecesinin Önemi

Gerçek kalıtım derecesi, seleksiyonun etkinliğini belirlemek üzere kullanılabilecek önemli bir araçtır. Kalıtım derecesi aşağıda açıklanan koşullarda belirlenmelidir.

1. Akrabalı yetiştiriciliğin uygulanmadığı
2. Çevre etkisinin asgari düzeye indirildiği
3. Analık etkisinin olmadığı koşullar.

Kalıtım derecesinin yükseltilmesi için ya genetik farklılık artırılmalı veya çevresel farklılık azaltılmalıdır. Bal arılarında genetik farklılığın artırılması ve bu yolla kalıtım derecesinin yükseltilmesi, daha çok aynı ırk içerisinde mevcut soylardan üretilen hatlar arası melezlemeyle başarılıdır. Çevresel farklılığın azaltılması ise her türlü çevresel etkinin eşitlenmesiyle mümkündür.

Seleksiyon üstünlüğünün (i) artırılması ise yüksek fenotipik değerli kolonilerin damızlığa ayrılması ile mümkün olur. İslah çalışmalarında seleksiyon üstünlüğü, genelde populasyonun fenotipik standart sapması cinsinden ifade edilir.

Bu durumda $\bar{I} = i / \sigma_p$ şeklini alır veya $i = \bar{I} \times \sigma_p$ olarak ifade edilir.

\bar{I} = seleksiyon üstünlüğünün populasyonun fenotipik standart sapması cinsinden ifadesi

i = seleksiyon üstünlüğü

Σp = populasyonun standart sapmasıdır.

Seleksiyon üstünlüğünün bu ifade şekline göre yararlanıldığında genotipik ilerleme,

$\Delta G = i \times h^2 = \bar{I} \times \sigma_p \times h^2$ olarak belirlenir.

4.6. Seleksiyon Yöntemleri

Amaç karlılık olduğunda, yetiştirici kolonilerinin sürekli aynı verim düzeyinde kalmalarını arzulamaz. Ayrıca, yetiştiriciler genelde arılarında birçok üstün özelliğin birlikte bulunmasını isterler. Bu da istenen özelliğin mevcut genotipte bulunup bulunmamasına ve bu özelliğin kalıtsal nitelikte olup olmamasına bağlıdır. Populasyonu aynı anda birçok karakter yönünden iyileştirmek oldukça zordur ve bu tür çalışmalarda her bir generasyonda binlerce ifade edilecek sayıda koloniye gereksinim duyulur. Bu nedenle, karakterlerin kalıtım derecesi, populasyonun akrabalık düzeyi ve üreme etkinliği gibi özelliklerine göre seleksiyon yöntemleri geliştirilmiştir. Uygulanacak ıslah programının başarıya ulaşması için kolonilerin daha önce tutulmuş kayıtlardan ve ebeveynlerine ait veriler varsa bunlarla başlanılır. Bal arısı ıslah uygulamalarında daha çok kitle, kombine, döl kontrolü ve indeks seleksiyon yöntemleri tercih edilmektedir.

Tablo 24. Koloni kartı

Arıcı:		K O L O N İ K A R T I								Yıl:			
										Arılık kapasitesi:			
										Arılık yeri:			
ANA ARI No: Yıl:		ERKEK ÜRETİCİ KOLONİ No:						Önceki yıl bal verimi (Kg):					
ANA ARI ANA No:		ERKEK ANASI No:						Önceki yıl arılık ortalama bal verimi (Kg):					
İrk/Hat:		ERKEK ARI BÜYÜK ANNE No:						Bu yıl ortalama bal verimi (Kg):					
Yetiştirici:		Çiftleşme istasyonu:						Bu yıl arılık ortalama verimi (Kg):					
		İrk/Hat: Yıl:						Koloni ortalama indeks değeri:					
Koloni No:		G E N E L K O N D İ S Y O N U							Verilen +, Alınan -				
Tarih	Arılı Çerçeve	Yavrulu Çerçeve Sayısı			Gıda Stoku Kg	Oğul Davranışı	Sakinlik ve Hareketlilik	Temel Petek	Kabartılmış Petek	Yavrulu Çerçeve	Arılı Çerçeve	Ballı Çerçeve	Önemli Not
		Yumurtalı	Kapalı	Toplam									

4.6.1. Kitle Seleksiyonu

Populasyonu meydana getiren kolonilerin kendi bireysel verimlerine göre seleksiyon olarak da bilinir. Daha çok kalıtım derecesi yüksek olan karakterler söz konusu olduğu zaman başvuru bir yöntemdir. Bal arılarında fenotipin tespitinde koloninin tümü değerlendirilir. Bu nedenle erkek ve dişilerin seçiminde değerlendirilecek birey ana arıdır. Ana arılara ait fenotipik değerlerden yararlanılır.

Ana arının çiftleştiği istenmeyen özelliklere sahip genotipteki 1-2 erkek arı sebebiyle, aslında iyi bir genetik yapıya sahip olan koloni, bu kötü genotipteki altfamilyalar nedeniyle seleksiyon dışı kalabilir. Bu nedenle, kalıtım derecesi yüksek olan karakterlere göre seleksiyon yapıldığında ve karakter koloninin performansı ile ilgili ise kitle seleksiyonu daha iyi sonuç verir. Bu seleksiyon yönteminde başlangıç populasyonu, genelde yöreden tesadüfi olarak seçilmiş 300-400 kadar koloniyi kapsar. Koloniler seçilirken yöre veya coğrafik bölgeyi temsil etmeleri dışında verimle ilgili bir üstünlükleri aranmaz. Kolonilerin tümü numara verilerek kayıt sistemine dâhil edilir ve arılık içerisinde tesadüfi olarak dağıtılır. Islah populasyonunun ilk yılında kitle seleksiyon yöntemi uygulanmak durumundadır. Çünkü gerek kolonilerin kendileri ve gerekse ilgili ebeveyn, döl, diğer akraba bireylere ilişkin hiçbir veri bulunmamaktadır. Bu yöntemde, arılıkta her türlü faktör açısından eşitlik sağlanır, düzenli kayıt tutulur ve üzerinde durulan karakterin uygun bir metotla fenotipik değeri ölçülür.

Koloniler ortaya koydukları verim veya gösterdikleri performansa göre en yüksek değerden en düşük değere göre sıralanır ve populasyon içerisinde en iyi performansı gösteren 30-40 koloni (X1, X2,.....ve X40) gelecek generasyonun ana arılarının analarını oluşturmak üzere seçilir (Şekil 130).

Islah programının birinci yılında kitle seleksiyon yöntemiyle sağlanan genotipik ilerleme düzeyi ise aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$\Delta G = i \times h^2$$

ΔG = bir generasyonda sağlanan genotipik ilerleme düzeyi

i = seleksiyon üstünlüğü

h^2 = karaktere ilişkin kalıtım derecesidir.

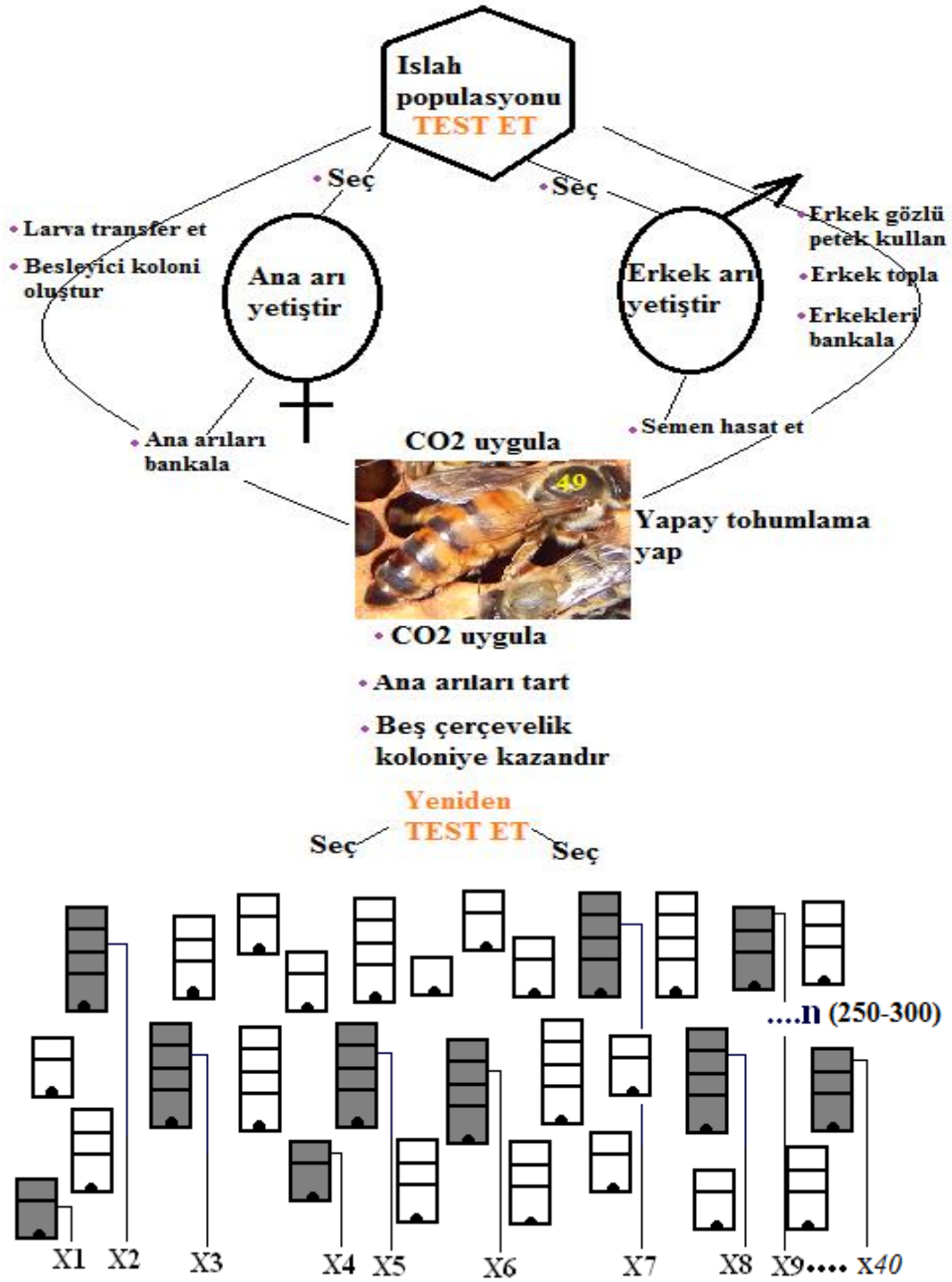
Gelecek generasyonu oluşturacak döl popülasyonunun genotipik ortalaması ise G_1 kadar olacaktır. Çünkü seleksiyonun sağlayacağı avantajla gelecek populasyon, bir önceki ebeveyn populasyonundan daha yüksek fenotipik değer ortaya koyacaktır. Bu üstünlüğün düzeyi ise;

$$G_1 = G_0 + \Delta G \text{ kadardır.}$$

Burada görüldüğü gibi populasyonunun G_0 olan genotipik değeri ΔG kadar artacaktır.

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla ayrıca çalışılan bir populasyonda karakterin kalıtım derecesi katsayısı ve seleksiyon indeks değerlerini de gerektiğinde belirlemek mümkündür. Kalıtım derecesi katsayısı belirlenmek istendiğinde yukarıdaki eşitlik;

$$h^2 = \Delta G / i \text{ şeklinde ifade edilir.}$$



Şekil 130. Üstte ıslah edilecek popülasyonun test edilmesi ve seleksiyonun genel anlamda uygulanışı ile altta Kitle Seleksiyon yönteminin uygulandığı bir popülasyondan koloni seçimi.

4.6.2. Familya Seleksiyonu

Bu seleksiyon yöntemi daha çok kalıtım derecesi düşük olan karakterler söz konusu olduğunda tercih edilen bir yöntemdir. Kalıtsallığın değeri birey yerine tüm familyanın değerlendirilmesi ile belirlenir. Familya seleksiyonu uygulandığında ebeveynlere ve kızkardeşlere ait değerler de ayrıca dikkate alınır. Familya seleksiyonunda elde edilecek genotipik ilerleme düzeyi ise;

$$\Delta G_F = i_F \times h_F^2 \text{ kadar olur. Burada;}$$

i_F = familyaya ait seleksiyon üstünlüğüdür ve bunun populasyonun standart sapması ve seleksiyon entansitesi ile olan ilişkisi $i_F = SE \times \sigma_P$ kadardır. Burada;

SE = seleksiyon entansitesi

σ_P = populasyonun fenotipik standart sapması

i_F = familya ortalamalarına ait seleksiyon üstünlüğü

h^2_F = familya ortalamalarına ait kalıtım derecesidir.

Familya seleksiyonunun temel dayanağı, familyaların ortalama değerleri arasındaki farklılığın kalıtsal olan kısmının ferdi verimler arasındaki farklılığın kalıtsal olan kısmından daha yüksek olacağı varsayımdır. Bu varsayım değerlendirildiğinde familya ortalamalarına ait kalıtım derecesi (h^2);

$$h^2_F = 1 + (n-1)R_G / 1 + (n-1)r_P \times h^2 \text{ olur.}$$

Burada belirlenecek olan familya ortalamalarına ilişkin kalıtım derecesi fenotipe ait kalıtım derecesinden daha büyük ($h^2_F > h^2$) olacaktır. Bu familya ortalamaları üzerinden belirlenen kalıtım derecesi (h^2_F) katsayısının kitle seleksiyon yöntemiyle belirlenen kalıtım derecesi (h^2) katsayısından yüksek olacağını gösterir.

Burada; R_G = familya içindeki fertlerin akrabalık dereceleri

r_P = bir familyadaki fertlerin herhangi bir karakter bakımından fenotipik benzerlik derecesi olup, fenotipik korelasyon katsayısı olarak belirlenir. Bu katsayı $r_P = R_G \times h^2$ kadardır.

n = her familyadaki ortalama fert sayısı

h^2_F = familya ortalamalarına ilişkin kalıtım derecesi katsayısı

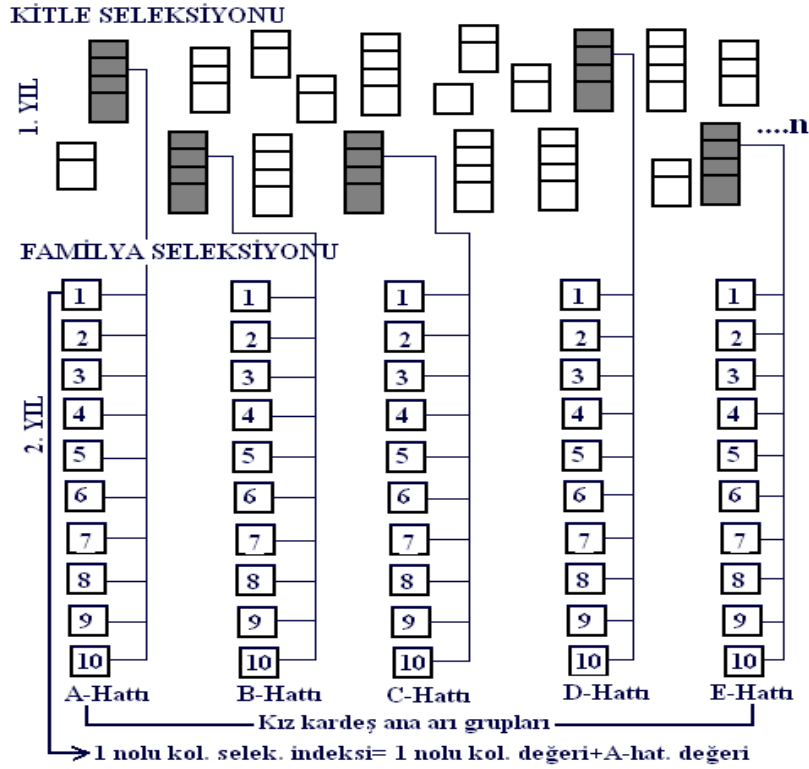
h^2 = fertlerin kendi fenotipik değerlerine ait kalıtım derecesi katsayısıdır.

Familya ortalamalarından hesaplanacak kalıtım derecesi katsayısının (h^2_F) bireylerin kendi ferdi verimleri üzerinden hesaplanacak kalıtım derecesi katsayısından (h^2) büyük olması, familya içindeki ortalama fert sayısı (n), familya içindeki fertlerin akrabalık derecesi (R_G) ve fertlerin kendi fenotipik değerlerine ait kalıtım derecesine (h^2) bağlıdır.

Bu seleksiyon yönteminden diğer evcil hayvanlarda öz ve üvey kardeş familyalarında yararlanılır. Ancak bal arısında bu iki familyaya ilaveten bir üçüncü familya, yani süper kızkardeş familyasından da yararlanılır. Bal arılarında öz, üvey ve süper kızkardeş familyalarını oluşturan bireylere ait akrabalık derecesi (R_G)'nin kalıtım derecesiyle (h^2) olan ilişkisine ait değerleri sırasıyla $h^2 = 2R_G$, $4R_G$ ve $4/3R_G$ kadardır.

Birbirleriyle akrabalık ilişkileri bulunmayan ve daha önce Kitle Seleksiyonu ile üstünlükleri kanıtlanmış olan X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , X_7 , X_8 , X_9 ve X_{40} kolonilerinin her birinden, yetiştirilen 10'ar adet kızkardeş ana arının her biri, yine kendi ana arılarının veya onların doğal çiftleştirilmiş kızlarının meydana getirdiği erkek arılardan toplanan semen ile yapay tohumlamaları yapılır. Bu 10'ar adet kızkardeş ana arı gruplarının her biri bir familyayı (A, B, C, ..n familyaları) temsil ederler (Şekil 131).

Familya seleksiyonunda, her familyanın üzerinde durulan karakter yönünden ortalaması belirlenir ve en yüksek değeri alan familyadan en az değeri alana doğru bir sıralama yapılır. En yüksek değeri alan familya (C) veya familyalarda (C, B ve A) yer alan koloniler gelecek generasyonunun ebeveynlerini oluşturmak üzere seçilirler. Üreme hızının yüksek olması sebebiyle familya seleksiyonu bal arılarında daha güvenle uygulanabilir.



Şekil 131. Birinci yıl kitle seleksiyonu ve ikinci ve daha sonraki yıllarda Familya seleksiyon yönteminin uygulanışı.

Tablo 25. Familya seleksiyonunda kolonilerin fenotipik üstünlüklerine göre sıralanışı

Familya	Bal Verimi (kg/koloni)
C	36
B	25
A	19
H	14
E	9
D	7

4.6.3. Kombine Seleksiyon

Bu seleksiyon yönteminde hem familya ortalaması hem de kolonilerin kendi fenotipik değeri dikkate alınır. Bal arısında daha çok tercih edilen bir seleksiyon yöntemidir. Yani fenotipik en yüksek ortalama değere sahip olan familyaların içerisinde en yüksek ortalama değeri gösteren koloniler ebeveyn olarak seçilir. Ancak bu yöntemde bireyin kendi fenotipik değerine bir ağırlık verildiğinde familya ortalamasına ne kadar ağırlık verileceğine ilişkin bir katsayının (W) belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla C familyasından 5'nolu koloniye ait kombine seleksiyon indeks değeri (Y_{ij}) = $P_{ij} + Wp_i$ olarak belirlenir. Bu eşitlik aslında $Y_{ij} = (P_{ij} - \hat{G}) + W(p_i - \hat{G})$ olarak da yazılabilir.

Burada;

Y_{ij} = 5 nolu koloninin belirlenecek olan indeks değeri

P_{ij} = i. bireyin fenotipik değeri

P_j = i. bireyinin üyesi olduğu j. familyanın ortalama fenotipik değeri

\hat{G} = populasyon ortalaması

W= tartı faktörüdür. Bu yöntem sayesinde, B ve A familyalarından da yüksek verim veren kolonilerin seçilme şansları olabilecektir.

Tartı faktörü, ya da familya ortalamasına verilecek nispi ağırlık katsayısı ise;

$W = n/1+(n-1)r_p \times R_G - r_p/1-R_G$ eşitliği yardımıyla belirlenir.

Burada;

r_p = bir familyadaki fertlerin herhangi bir karakter bakımından fenotipik benzerlik derecesi

R_G = familya içindeki fertlerin akrabalık dereceleri

h^2 = karaktere ait kalıtım derecesi katsayısı

$c^2 = C$ faktörüdür. C faktörü (c^2) familyalar içindeki fertlerin birbirlerine fenotipik benzemelerini genetik benzerliklerinden ayrı olarak etkileyen faktörlerdir. Larva yaşı ve ana arı yaşı gibi faktörler buna örnek olarak verilebilir.

Burada fenotipik benzerlik derecesi (r_p) = $R_G \times h^2$ eşitliği yardımıyla belirlenir.

Özel analık etkisinin söz konusu olduğu durumda ise fenotipik benzerlik düzeyi $r_p = (R_G) \times (h^2 + c^2)$ 'nin etkileri toplamını ifade eder ve ayrıca buradan, $c^2 = r_p^2(1-h^2)$ 'yi de belirlemek mümkündür.

4.6.4. Döllere Göre Seleksiyon

Ebeveyn olacak kolonilerin seçiminde döllerin verimleri esas alınarak uygulanan bir seleksiyon yöntemidir. En güvenilir ve iyi ıslah materyali ana arı, döl kontrolünden geçmiş olanıdır. Bir koloninin damızlık değeri en güvenilir şekilde döllerin ortalamasından tahmin edilir. Her ne kadar bir birey dölleri kendi genotipinin rastgele bir yarısını aktarıyor ise de ortalamanın hesaplandığı döl sayısı arttıkça ebeveynin damızlık değerini tahmin etmedeki isabet düzeyi artar. Birçok yavrusu herhangi bir karakter bakımından yüksek ortalama sahip olan bireyin kendisinin de yüksek ortalama değere sahip olacağı varsayımı bu yöntemin esasını oluşturur. Bal arısı ıslahında en güvenilir seleksiyon yöntemi kabul edilir. Yukarıda verilen Şekil 130'da X_1 veya X_5 ana arısının damızlık değeri kendi dölleri olan 1, 2, 3, ve 10 nolu kolonilerin verimleri esas alınarak belirlenir. X_1 veya X_5 nolu kolonilerinin her biri 10'ar adet dölü yerine yetiştirici koşullarında 100'lerle ifade edilebilecek sayıda dölünü aynı üretim sezonunda kontrolden geçirmek mümkündür.

Döl kontrolünün sağladığı diğer bir avantaj ise ilk yavrularının ortalamasına göre üstün olan bir ferdin gelecekteki dölleri ne oranda üstün olacağını tahmin etmek amacıyla yararlanılabilecek ebeveyn ile yavru arasındaki regresyonun tespitidir. Bu ilişkiye ait değer (b) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenir.

$b = n(R_G)h^2/1+(n-1)r_p$ 'dir.

Burada;

b = ebeveyn ile yavru arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayısı

R_G = yavruların akrabalık derecesi

r_p = bir ebeveyne ait yavruların herhangi bir karakter bakımından fenotipik benzerlik derecesi

n = her ebeveyne temsil eden yavru sayısı

h^2 = karaktere ait kalıtım derecesi katsayısıdır.

Diğer çiftlik hayvanlarında daha çok aynı yaştaki döl sayısının yetersizliği ve generasyonlar arası süreyi uzatıcı etkisi sebebiyle pek tercih edilemeyen bu yöntem bal arılarında daha kolay ve güvenle uygulanabilmektedir. Döl kontrolünden geçen X_1 veya herhangi bir diğer koloni, başlangıçta ana tarafı olarak tercih edilebileceği gibi baba olarak da tercih edilebilir.

4.6.5. Akrabalara Göre Seleksiyon

Kalıtım derecesi (h^2) düşük karakterler söz konusu olduğunda başvurulacak bir yöntemdir. Çünkü bu tip karakterler söz konusu olduğunda bireysel verimlere göre yapılan seleksiyon yönteminden yeterli sonuç alınamamaktadır. Bu nedenle damızlıkların belirlenmesinde akrabalara ait verimlerden yararlanma yolu tercih edilir. Verimleri kriter olarak kullanılacak akrabalar ise ebeveynler, öz, üvey, süper kızkardeş grupları ile döl gruplarıdır. Fenotipik üstünlükleri kanıtlanmış birçok ana arının her birinden yetiştirilen çok sayıdaki erkek arıların her biri çok sayıda ana arı ile çiftleştirilirse aralarında farklı düzeylerde akrabalık ilişkisi bulunan öz, üvey ve süper kızkardeş familyaları elde edilir. Buradan da damızlık olacak adayın üstünlüğü ya da damızlık değeri buradaki kız kardeş gruplarına göre belirlenir. Bal arılarında öz, üvey ve süper kızkardeş gruplarına ait fenotipik değerlerin ortalamalarına göre damızlık adayı ana arının damızlık değerine ilişkin regresyon katsayıları (b)'na ilişkin değerler aşağıdaki gibidir.

$$\text{Öz kızkardeşler için } b = n \times h^2/2 + (n-1)h^2$$

$$\text{Üvey kızkardeşler için } b = n \times h^2/4 + (n-1)h^2$$

$$\text{Süper kızkardeşler için } b = n \times h^2/3 + (n-1)h^2 \text{ olur.}$$

Pedigrili seleksiyon, daha çok verim ve çiftleşme kayıtları tutulan, çiftleşmelerin yapay tohumlama uygulamalarının yapıldığı işletmelerde uygulanır. Olumsuz çevre şartlarında fenotipe bakılarak yapılan seleksiyon sonucu oluşabilecek hataları asgariye indirir. Bunun yanı sıra, kalıtım derecesi düşük olan karakterlere göre seleksiyon yapıldığında kitle seleksiyonu ile ilerleme sağlanamadığından pedigrili seleksiyon uygulanır.

4.6.6. Dolaylı Seleksiyon

Bazı karakterler, aralarındaki genetik ilişki sebebiyle birbirlerinin oluşacak fenotipik yapılarını etkileyebilirler. Populasyonda iyileştirilmesi istenen karakterin kalıtım derecesi düşük ve tespitinde zorluklar var ise bu durumda başka karakterler ile olan ilişkisi değerlendirilir. Populasyonda olması arzulanan karakter ile ilişkisi bulunan başka bir karakter belirlenir. Örneğin her bir arı kolonisinin bir sezondaki bal verimi ancak sezon sonunda yapılacak tespitlerle belirlenebilmektedir. Ayrıca, bal veriminin kalıtım derecesi katsayısı da düşük ise sezon sonunu bekleme yerine bal verimi ile aralarında pozitif ilişki bulunan kuluçka üretim etkinliği, koloni populasyon büyüklüğü veya erken ilkbahar gelişimi gibi karakterler bu amaçla değerlendirilir. Nitekim bal verimi ile işçi arı mevcudu arasında $r = 0.90$, bal verimi ile kuluçka üretim etkinliği arasında $r = 0.81$ gibi önemli pozitif ilişkiler bulunmaktadır.

4.6.7. Birden Fazla Karakter İçin Seleksiyon

Seleksiyon üstünlüğünü artırmak için, diğer evcil hayvan populasyonlarında genelde ayıklama hızı düşürülür, döl verimi yükseltilir, suni tohumlama, embriyo transferi veya genetik kopyalama gibi yöntemlere başvurulur. Bal arılarında gerek genetik yapı ve gerekse cinsiyet oluşumunun sağladığı avantajlar sebebiyle yukarıda belirtilen yöntemlere çoğunlukla ihtiyaç duyulmaz. Çünkü sığır ve diğer hayvanlarda örneğin suni tohumlama daha çok babanın populasyondaki etkinliğini artırmak, embriyo transferi veya kopyalama yine bir dişiden bir yılda daha fazla yavru alma gibi amaçlara ulaşmada başvurulacak yöntemlerdir. Oysa bir ana arıdan uygun dönemlerde günde 1500-2000 adet yumurta veya aynı ana arıdan günde binlerle ifade edilecek miktarda larva transfer edilebildiği gibi, yine hem ana

hem de baba olarak kullanılabilecek olan bir ana arıyı temsil eden aynı genomda binlerce erkek veya yüz milyonlarca sperm almak mümkündür. Bu nedenle diğer birçok canlı populasyonunda çok istenen ya da arzulanan genetik kopyalamaya bal arılarında ihtiyaç duyulmaz.

Arı kolonilerinin sakin davranışlı, yüksek verimli ve hastalıklara dayanıklı olmaları her yetiştirici tarafından ve her zaman arzulanan bir durumdur. Populasyonun birçok ekonomik karakteri üzerinde bulundurması isteniyor ise bu durumda İndeks Yöntemi, Teksel Seleksiyon ve Bağımsız Ayıklama Sınırları gibi seleksiyon yöntemlerinden yararlanılır.

4.6.7.1. İndeks Yöntemi

İndeks yöntemi daha çok kombine seleksiyon yöntemine benzer. Bu seleksiyon yönteminde de her koloni için tüm karakterleri birlikte ifade edecek bir indeks değeri belirlenir ve bireyler en yüksek indeks değerinden en düşüğe doğru sıralanır ve ihtiyaç düzeyinde koloni en yüksek indeks değeri alanlardan seçilir. İndeks değerini belirlemek üzere;

$I = W_A A + W_B B + W_C C + \dots + W_L L$ olarak geliştirilen çoklu regresyon denkleminden yararlanılır. Bu yöntemde her karakterin indeks değerine katkı düzeyini ifade edecek olan W katsayısının hesaplanması önemlidir. W aslında bir kısmi regresyon katsayısıdır. Bu yöntem fazla sayıda koloni ihtiva eden denemelere imkân tanınması sebebiyle bal arısında uygulanması diğer hayvanlara göre daha avantajlı ve güvenilirdir. Bu sayede standart hata küçülür, kalıtım derecesi daha güvenilir hal alır ve indeks değerinin yığın genotipe tekabül etme ihtimali yükselir.

5. Yetiştirme (Çiftleştirme) Yöntemleri

5.1. Saf Yetiştiricilik

Aynı ırktan veya ırk içerisindeki soydan ana ve erkek arılar arası yapılan çiftleştirmedir. Daha çok doğal yapı yönünden sınırlandırılmış bir coğrafik bölgede oluşmuş bir arı populasyonunun genetik yapı yönünden saf korunması amacıyla başvurulmuş bir yetiştirme sistemidir. Burada çiftleştirilen ana ve erkek arılar arasındaki akrabalık veya homozigotluk düzeyi bu yetiştirme yönteminde belirleyici değildir. Bu sistemde yararlanılan ana ve erkek arılar aynı ırktan olmak koşuluyla birer aile, hat veya soy niteliğinde olabilirler. Bölgeler, ülkeler ve kıtalar arası her türlü arı ve ana arı ticareti ve hareketi ile yerli ırkların melezleme sonucu olumsuz etkilendikleri bilinmektedir. Irklar birer doğal ve ıslah için de gerekli genetik kaynak niteliğindedirler. Bu genetik kaynakların önemini kavrayan ülkeler ırkların saf muhafaza edilmeleri amacıyla gerekli yasal düzenlemeleri ve yetiştirici örgütlenmelerini gerçekleştirmişlerdir. Saf yetiştiricilik, yapay tohumlama alt yapısı ve izole edilmiş çiftleştirme alanlarının oluşturulması ile mümkündür.

5.1.1. Kontrollü Çiftleştirme

Suni tohumlama, çiftleştirme üzerinde tam bir kontrol sağlamasına rağmen, özel beceri, zaman ve özel ekipman gerektirmesi, üreticilerin bu sistemi kullanmalarını kısıtlamaktadır. Bazı ülkelerde özel laboratuvarlar diğerlerinde ise araştırma enstitüleri suni tohumlama işlemini üstlenmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre suni tohumlama ile elde edilen ana arı miktarı Polonya hariç Avrupa'da oldukça düşüktür. Polonya'da ise daha farklı bir yapı söz konusudur. Bu ülkede üretilen toplam ana arının %40'ı yapay tohumlama ile döllenmektedir. Ülkede yılda yaklaşık 25-30 bin arasında ana arı yapay tohumlama ile döllenmektedir. Almanya ve Avusturya gibi ülkelerde çiftleştirme istasyonlarının kuruluş ve korunması yasalarla düzenlenmiştir. Bu ülkelerdeki diğer birlik ve enstitülerin, üyelerinin

kullanımı için özel çiftleştirme istasyonları bulunmaktadır. Çiftleştirme istasyonları, izole bölge aşağıda ve yapay tohumlama yöntemi ileride anlatılmıştır.

5.1.1.1. Çiftleştirme İstasyonları

Saf ve melez üretimi gibi kontrollü çiftleştirme amacıyla oluşturulan alanlardır. Alan her türlü arı girişine kapatılır. Her bölgede ve bölgedeki ana arı yetiştiricilerinin sayıları dikkate alınarak bir veya birkaç çiftleştirme alanı kurulur. Bu amaçla yaklaşık 10-12 km yarıçapında ve aşırı rüzgar almayan vadi içleri tercih edilir. Alanların sürekli kullanımı söz konusu değildir. Çiftleştirme istasyonu yetiştiriciliğin amacına göre arı genotipine ait erkek arı ile doygun hale getirilir. Her 100 ana arı için çiftleşme bölgesinde ortalama 5000 kadar erkek arı bulundurulur. Daha sonra ana tarafını temsil eden ana arılar alana taşınır.

5.1.1.2. İzole Bölge

İzole Bölge daha çok coğrafik bir bölgeyi kapsar. Kontrolsüz çiftleştirme alanlarından izole edilmiş ve her türlü gen akışının engellendiği bölgelerdir. İzole bölge doğal engeller (dağlar, platolar vb) tarafından sınırlandırılmış alanlardır. Bu bölgelerin kendi ekolojilerine uygun arı gen kaynakları bulunur. Bölge genetik kaynağın (ırk) saf muhafazası amacıyla kontrol altına alınır ve her türlü arı girişine kapatılır. Buna en iyi örnek ülkemizin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi gösterilebilir. Bu bölgenin kendi orijinal arısı Kafkas ırkıdır. Bölge son 25-30 yıllık süre içerisinde dışarıdan her türlü gen akışına kapatılmıştır ve bu haliyle izole bir bölgedir. Doğal oluşmuş coğrafik izole bölgeler dışında da yeni ırk ve genotiplerin korunması amacıyla izole bölgeler oluşturulabilir.

5.2. Akrabalı Yetiştiricilik (Inbreeding)

Bir popülasyonda çiftleştirilen ana arı ile erkek arıların birbirleriyle akrabalıkları söz konusu ise, uygulanan sistem akrabalı yetiştirmedir. Genelde geriye doğru birkaç generasyonda ortak ataya sahip olan koloniler birbirleriyle akrabadırlar. İleri düzeyde homozigotluk yakın akrabalı yetiştiricilik uygulamaları ile mümkündür. Popülasyonda homozigotluğu ileri düzeyde arttırarak farklı amaçlar için kullanmak genelde arı ıslahı çalışmalarında tercih edilen bir yöntemdir. Akrabalı yetiştirme sisteminin temel amaçlarını aşağıda belirtildiği gibi sıralamak mümkündür.

- Genetik saflığı dolayısıyla homozigotluğu arttırarak karakterin gelecek döl generasyonuna aktarımını garanti altına almak
- Karakteri belirleyici genlerin döl popülasyonunda frekans düzeylerini arttırmak
- Meydana gelecek açılımları ortadan kaldırmak
- Popülasyonda arzu edilmeyen resesif etkili genler var ise bunları homozigot hale getirerek popülasyonu bunlardan temizlemek
- Heterojen yapıda olan bir genetik materyali çeşitli genetik birimlere ayırarak seleksiyonun uygulanışını kolaylaştırmak
- Özellikleri bilinen yeni genetik kombinasyonlar (soy, hat, familya, hibrit) elde etmektir.

Akrabalı yetiştiricilik uygulamalarının nasıl yapıldığını anlatmadan önce konuyu anlaşılır hale getirmek amacıyla arı ailesindeki bireyler ve bunların birbirleriyle akrabalık ilişkilerinin ortaya konulması yararlı olacaktır.

5.2.1. Arı Ailesinde Akrabalık İlişkisi

Diğer canlıların çoğunda bilinen genel akrabalık ilişkisi veya ana, baba, kardeş büyük baba ve büyük anne kavramları arılar için de geçerlidir. Ancak bal arısı kolonisinde (ailesinde) bu bireylerin ailedeki konumları, oluşum şekilleri ve genetik yapıları farklılık gösterir. Arı kolonisi, gerçek anlamda bir ailedir. Her ailenin, bir anası, babaları ve ailenin gerçek çocukları olan işçi arılar vardır. Koloni ana arısı çok sayıda erkek arı ile çiftleştiğinden koloni bireyleri ana birçok sayıda babadan oluşurlar. Bireylerin babaları ana arı ile çiftleşmeden sonra ölür. Fakat bu babaların varlıkları ana arı sperm kesesinde depolanan sperm vasıtasıyla ana arı yaşadığı sürece devam eder. Bu sebeptendir ki arı ailesinin çok sayıdaki döllerinin tümü birbirleriyle öz kardeş değillerdir. Doğal olarak bir arı ailesinde ana arının çiftleştiği erkek arı sayısı kadar (15-20) ayrı üvey kardeş familyası bulunur (Şekil 120).

Diğer evcil hayvan popülasyonlarının verimlerini belirlemeye yönelik ıslah çalışmalarında deneme materyalini her canlıdan (sığır, koyun) veya organizmadan bir tanesi temsil eder. Bal arısında bunun karşılığı ise, arı kolonisi veya ailesinin kendisidir. Böyle bir ailede gerçek anlamda ortaya konulan verimde iki bireyin payı vardır. Birincisi, ortaya koyduğu yumurtlama yeteneği ile ana arı ve ikincisi de kızları olan işçi arılardır. Fakat hibrit arı yetiştiriciliğinde durum daha farklıdır. İşçi arılar genetik karakter yönünden az da olsa ana arıdan farklıdır. Çiftleşme kontrollü yapılmadığı sürece bir arı kolonisinin genotipini net olarak ortaya koymak mümkün değildir. Bu nedenle yapılacak ıslah çalışmalarında ana ve baba genotiplerinin bilinmesi bir zorunluluktur. Bunun için de önce arılıkta çok iyi bir kayıt tutma sistemi oluşturulur, her koloniye numara verilir ve koloni ana arısı ölmediği sürece numarası değiştirilmez.

5.2.2. Akrabalık Derecesi

Akrabalık derecesi (R_{xy}) ıslahta düzenli olarak yararlanılan önemli bir parametredir (R_{xy}). Ortak atalara sahip olan iki birey tarafında paylaşılan benzer genlerin nispi miktarına Akrabalık Derecesi denir.

Rinderer (1986) bal arılarında akrabalı yetiştiricilik sonucunda meydana gelebilecek homozigotluk düzeyinin belirlenmesinde İz (Path) Katsayıları yöntemini uygun ve güvenilir bulmuştur. Akrabalığı hesaplanacak bireylerin sahip oldukları ortak ataya kadar geçen generasyon sayısı belirleyici bir unsurdur ve bu sayı değerlendirilir. Çünkü her canlının genetik potansiyeli, her generasyonda yarılanarak yavrusuna geçer. Baba veya ana ebeveynlerinden her birinin yavrusu ile benzerliği $\frac{1}{2}$, büyükbaba veya büyükannenin ise $\frac{1}{4}$ düzeyindedir. Örneğin Şekil 132'deki C ve D bireylerinin akrabalık derecesi aşağıda verilmiş olan eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$R_{CD} = \sum (1/2)^n \text{ kadardır.}$$

Burada;

R_{CD} = C ve D bireylerinin akrabalık derecesi veya ortak oldukları genlerin nispi düzeyi,

Σ = her ortak ceddin ayrı ayrı hesaplanan benzerlik düzeyi

$\frac{1}{2}$ = özelliğin her generasyonda yarılanması

n = her bir ortak atadan akrabalığı hesaplanan C ve D işçi arılarının her birine kadar geçen generasyon sayısıdır.

Akrabalığın düzeyi de bu generasyonların birbirlerine yakınlığına bağlıdır. Path diyagramında belirlenecek olan n sayısı arılarda sadece diploid yapıdaki ana tarafı için geçerlidir. Baba veya erkek arı için aradan geçen generasyon sayılmaz. Çünkü haploid yapıda olan bireyde bölünme meydana

gelmez. Baba her zaman yavrusuna sahip olduğu genetik potansiyeli $\frac{1}{2}$ (%50) olarak aktarır. Şekil 132'de görüldüğü gibi C ve D bireylerinin A ve B olmak üzere iki ortak ebeveynleri bulunmaktadır. Buradan C ve D bireylerinin genetik benzerlikleri A ve B ebeveynlerinin ayrı ayrı sağladıkları benzerliklerin toplamı kadardır. O halde bunların akrabalık derecesi şekilde mevcut iz diyagramları takip edilerek;

$$R_{CD} = \Sigma(1/2)^n = CAD(1/2)^2 + CBD(1/2) \text{ olarak belirlenir.}$$

Burada;

CAD = A ortak atasından (diploid yapıdaki ana arıdan) her iki bireye ulaşan iz

CBD = B ortak atasından (haploid yapıdaki babadan) her iki bireye ulaşan izdir.

Path diyagramı yöntemi diploid canlılar için geliştirilmiş olmasına rağmen haplo-diploid yapıda pedigree analizinde de güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır. Metodun güvenilir bir biçimde uygulanması aşağıda belirtilen kuralların yerine getirilmesine bağlıdır.

- Pedigrideki tüm ortak atalar belirlenir
- Bütün dişi ebeveynler sayılır, erkek ebeveynler sayılmaz
- Erkek ebeveynler sayılmamasına karşın path izleri dişi ve erkek bütün atalara ulaştırılır
- Her zaman pedigride aynı ebeveyninden path diyagramı iz okunun tersi yöne ortak ataya kadar gidilir ve okla birlikte diğer ebeveyne ulaşınca kadar devam edilir
- Ortak atanın söz konusu olduğu durumlar hariç, bireylere ait akrabalı yetiştirme katsayıları dikkate alınmaz.

Akrabalık derecesi hesaplanacak bireylerin ana ve baba ebeveynleri yanı sıra büyük ebeveynlerinden de ortak ataya sahip olanlar var ise veya akrabalı yetiştirilmeleri söz konusu ise, akrabalık derecesi yine aynı yöntem takip edilerek belirlenir. Ortak ebeveynlerin akrabalı yetiştirilmiş olmaları yavrularının homozigotluk düzeyinin daha fazla olmasını sağlar. Bu durumda C ve D bireylerinin akrabalık derecesi;

$$R_{CD} = \Sigma(1/2)^n (1+F_A) \text{ eşitliğine dönüşür.}$$

Arıların akrabalık düzeylerinin belirlenmesinde diğer bir özel durum ise akrabalığı belirlenecek olan bireylerin kendilerinin akrabalı yetiştirilmiş olmalarıdır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda bu iki bireyin akrabalık derecesi;

$$R_{CD} = \Sigma(1/2)^n 1 + F_A / \sqrt{(1+F_C)(1+F_D)} \text{ eşitliği yardımıyla belirlenir.}$$

Burada;

F_A = iz diyagramında yer alan A ortak atasına ait akrabalı yetiştirme katsayısı

F_C ve F_D = akrabalığı hesaplanan bireylerin akrabalı yetiştirme katsayılarını

n = akrabalığı hesaplanan bireylerin birinden ortak ataya kadar geçen generasyon sayısıdır.

Eğer ortak ata sadece erkek ise, bu durumda sayılmadan geçilir ve yukarıda verilen eşitlik aşağıda belirtilen şekli alır.

$$R_{CD} = 2F_E / \sqrt{(1+F_C)(1+F_D)} \text{ olur.}$$

F_E = C ve D bireylerinin akrabalı yetiştirme katsayılarıdır.

Akrabalık derecesi yardımıyla mümkün olabilen bütün çiftleştirmelerde meydana gelen genetik ilişkinin miktarı belirlenir. Bu sayede döl generasyonunun akrabalı yetiştirme katsayıları, kolonideki veya koloniler arasındaki akrabalılık düzeyi tespit edilir. Diğer tarafta homozigotluk düzeyinin koloni performansı üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. Bu etkiler bir mevsim içerisinde önemli farklılıklar

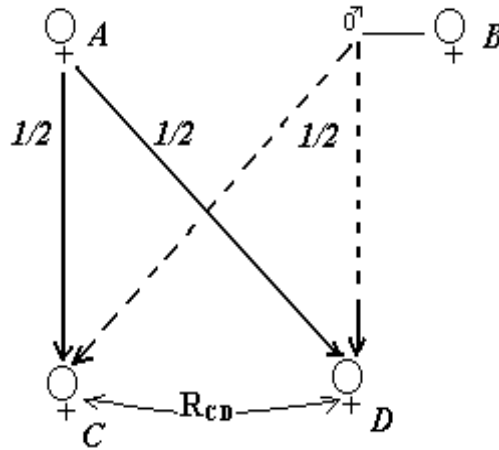
göstermekle birlikte bütün bir yıl dikkate alındığında daha çok yavru yaşama gücü, koloni popülasyonu gelişimi ve bal verimi gibi özellikleri olumsuz yönde etkiler.

Bir arı ailesi, aralarında farklı düzeyde akrabalık ilişkisi bulunan süper, öz ve üvey kızkardeş alt familyalardan oluşur. Bu alt familyalardaki bireyler arası akrabalık derecelerine ilişkin değerler aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

5.2.3. Koloni Bireylerinin Akrabalık İlişkileri

5.2.3.1. Süper Kızkardeş Oluşumu ve Akrabalık Düzeyi

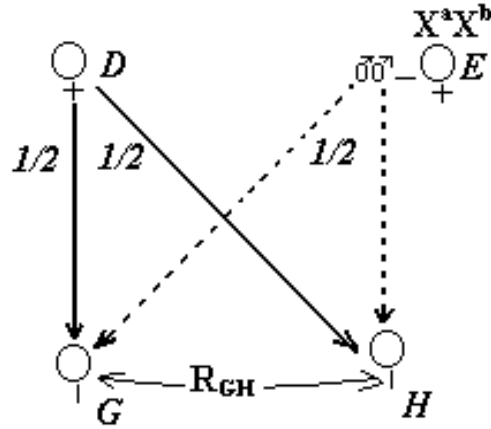
Her bir erkek arı bir süper kızkardeş familyasına babalık yapar. Şekil 132’de görülen C ve D dişi bireyleri birbirleriyle süper kızkardeş’dirler. Bunlar aynı ebeveynlerin dölleridir. Bu akrabalık ilişkisi diploid yapıya sahip canlılarda öz kardeş karşılığıdır. Ancak, bal arısında bu bireyler daha farklı düzeyde akrabalık derecesine sahip olurlar. C ve D bireyleri arasındaki akrabalık derecesi ortak ata olan A ana arısı ile B babasının ayrı ayrı sağlayacakları etkilerin toplamı kadardır. Yani $R_{CD} = CAD(1/2)^2 + CBD(1/2)$ iz yollarının toplamı kadardır. Buradan $R_{CD} = (1/4) + (1/2) = 0.75$ olur. Burada ana arıdan yavruya geçecek olan kalıtsal yapı ana arı diploid olduğundan yarılanarak geçecektir. Baba haploid ve tek tip allele sahip olduğundan yarılanma olmadan ve mevcut yapı olduğu gibi, yani $1/2$ olarak aktarılacaktır.



Şekil 132. Süper kızkardeş oluşumu ve akrabalık düzeyleri. (Düz çizgi ana, kesikli çizgi babayı temsil etmektedir).

5.2.3.2. Tam (Öz) Kızkardeş Oluşumu ve Akrabalık Düzeyi

Şekil 133’deki G ve H bireyleri öz kızkardeş’dirler; ana bir babaları ise aynı ana arının (E) iki farklı döllenmemiş yumurta hücresinden (X^a ve X^b) meydana gelen erkeklerdir. E ana arısının yumurta hücrelerinin benzer olma şansları diploid canlılarda olduğu gibi %50’dir. E ana arısının döllenmemiş yumurtalarından meydana gelen bu iki erkek arının her biri ya X^a veya X^b genotipinde olacaktır.

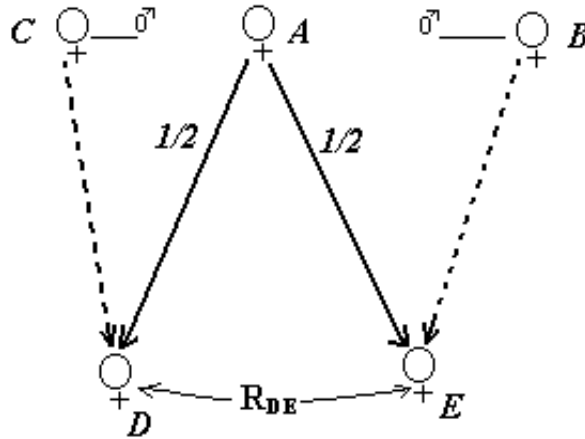


Şekil 133. Öz (Tam) kızkardeş oluşumu ve akrabalık düzeyleri.

Diploid yapıda söz konusu olduğu için tesadüfî bir geçiş (X^a veya X^b) olacaktır. G ve H bireylerinin akrabalık dereceleri veya genetik benzerlikleri D ve E ortak atalarının ayrı ayrı sağlayacakları benzerliklerin toplamı kadardır. Yani G ve H bireylerinin akrabalık dereceleri Şekil 133'deki path diyagramında görüldüğü gibi, $R_{GH} = GDH(1/2)^2 + GEH(1/2)^2$ kadardır. Çünkü burada ortak ata D ve E ana arılarıdır. Bu iki birey arasındaki akrabalık düzeyi $R_{GH} = (1/2)^2 + (1/2)^2 = 0.5$ olur.

5.2.3.3. Üvey Kızkardeş Oluşumu ve Akrabalık Düzeyi

Şekil 134'deki D ve E bireyleri birbirleriyle üvey kızkardeş'tirler. Ana bir babaları ise farklı ana arıların (C ve B'nin) oğullarıdır. Bu iki birey ortak ata olan ana arının (A) allel genlerinden tesadüfî birer yarı alacaklardır. Yani tek ortak ebeveynleri var o da A ana arısıdır. Bu nedenle akrabalık dereceleri $R_{DE} = DAE(1/2)^2$ kadardır ve buradan da benzer genlerin oranı $R_{DE} = 0.25$ olur.



Şekil 134. Üvey kızkardeş oluşumu ve akrabalık düzeyleri.

5.2.4. Akrabalı Yetiştirme Katsayısı

Bir bireyde homozigotlaşan genlerin toplam genlere oranına Akrabalı Yetiştirme Katsayısı denir. Bir bireye ait akrabalı yetiştirme katsayısı, o bireyin ana ve babasının akrabalık derecesinin yarısı kadardır ve $F_E = \Sigma(1/2)^n (1+F_A)/2$ eşitliği yardımıyla belirlenir. Örneğin Şekil 135'deki süper kardeşlerin çiftleşmesinden elde edilen E bireyine ait akrabalı yetiştirme katsayısı;

$$F_E = CAD(1/2)^2 + CBD(1/2)/2 \text{ kadardır. Buradan } F_E = (1/2)^2 + (1/2)/2 = 0.375 \text{ olur.}$$

Öncelikle Path diyagramında muhtemel tüm genetik yollar belirlenir. Ebeveynlerin herhangi birinden saymaya başlanır ve akrabalık derecesi hesaplanacak bireye kadar gidilir ve aynı işleme diğer bireye ulaşıncaya kadar devam edilir. Burada;

F_E = E bireyine ait akrabalı yetiştirme katsayısı

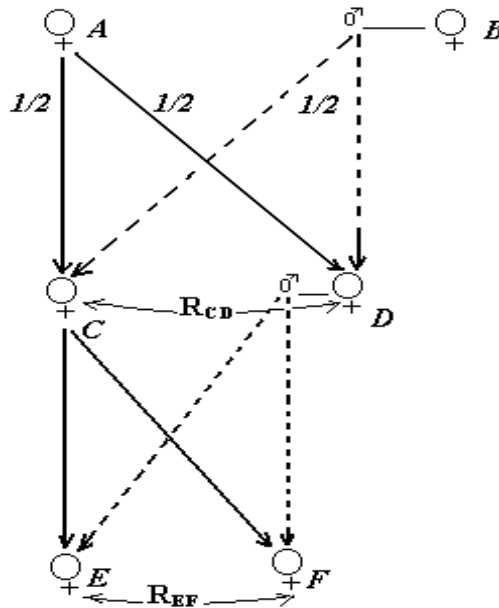
n = her iki ebeveyne ait ata sayısıdır.

Eğer ortak ata birden fazla ise akrabalık derecesinde olduğu gibi bu işlem her bir ebeveyn için ayrı ayrı hesaplanır ve buradan toplam değer belirlenir.

Bal arılarında kendileme uygulanması mümkün ve kolay olan bir yetiştirme şeklidir. Bu sistemde her generasyonda tek ebeveyn söz konusudur ve bu ebeveyninde ortak ata olması sebebiyle akrabalı yetiştirme katsayısına ilişkin eşitlik aşağıdaki şekilde oluşur.

$$F_E = 1/2 (1 + F_A) = 0.5 \text{ olur.}$$

Akrabalı yetiştirme amacı, yetiştiricinin ilgilendiği özel lokuslarda homozigotluğu arttırmaktır. Ancak istenen lokus veya lokuslarda homozigotluğu arttırmak yetiştiricinin kolayca kontrol edebileceği bir durum olmadığı gibi, bunu tüm genotipe yaymak veya yerleştirmek kolay bir uygulama değildir. Populasyonda bir lokusun herhangi bir generasyonda heterozigot olarak kalma düzeyinin bilinmesi ıslah açısından önemlidir. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla heterozigotluk düzeyini belirlemek mümkündür.



Şekil 135. Süper kızkardeşlerin çiftleşmesi sonucu elde edilen bir bireyin akrabalı yetiştirme katsayısı (Rinderer, 1986).

$$H_t = H_0(1 - F_E)$$

Burada; H_t = herhangi bir lokustaki bir gen bakımından heterozigotluk düzeyini, H_0 = akrabalı yetiştiriciliğe başlamadan önceki heterozigotluk düzeyini ve F_E = akrabalı yetiştirme katsayısını ifade eder ve akrabalı yetiştiricilik uygulanmamış bir populasyonda bu değer her generasyon için $1/2$ olarak kabul edilir. Düzenli akrabalı yetiştirme sistemleri uygulandığında, akrabalı yetiştirme katsayılarını ve generasyondaki heterozigotluğu belirleyecek eşitlikler geliştirilmiştir.

Kapalı populasyon yetiştiriciliğinde farklı generasyonlarda oluşacak Akrabalı Yetiştirme Katsayılarını belirlemek amacıyla ayrıca eşitlikler de geliştirilmiştir.

5.2.5. Akrabalı Yetiştiriciliğin Bal Arılarında Avantaj ve Dezavantajları

Homozigotluğun artmasıyla birlikte popülasyonda baskın ya da gizli kalmış resesif etkili genler ortaya çıkar ve bunların etkileri görülmeye başlar. Bu genler arzulanmayan bazı karakterlerin ortaya çıkmalarına sebep oldukları için yakın akrabalı yetiştiricilik her zaman arzulanmaz. Hatta bazıları meydana gelecek bu dejenerasyon sebebiyle akrabalı yetiştiriciliği mahsurlu görürler. Akrabalı yetiştirme ile arzulanmayan neticelerle karşılaşmak çoğunlukla mümkündür. Akrabalı yetiştirme sonucu bal arılarının morfolojik, fizyolojik, davranış ve ekonomik karakterlerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Örneğin, morfolojik olarak kanat damarlanma şekli ve cubital indeks değişmekte ve fizyolojik yönden önemli olumsuzluklar meydana gelmektedir. Yakın akrabalı yetiştiriciliğin uzun süre uygulanması sonucunda popülasyonda:

1. Yaşama gücü azalır
2. Adaptasyon yeteneği düşer
3. Üremede azalma meydana gelir
4. İşçi arıların kovan ortamında ısı düzenleme yetenekleri azalır
5. Birçok anormallikler, letal ve yarı letal genler ortaya çıkar
6. Hijyenik davranışta azalma meydana gelir
7. Parazitlere duyarlılık artar
8. Kolonilerin nektar ve polen toplama etkinliklerinde önemli düşüşler görülür
9. Cinsiyet lokusunda diploid homozigot oluşum sebebiyle yavru yaşama gücünde önemli ekonomik kayıplar meydana gelir.

Bütün bu olumsuzluklara rağmen bütün yakın akrabalı yetiştirme uygulamalarından her zaman olumsuz neticeler alındığı söylenemez. İyi neticelerin alındığı durumlar da vardır. Yakın akrabalı yetiştiricilikte kusurların ortaya çıkmasında başlıca sebep homozigotluğun artmasıdır. Popülasyondaki genetik varyasyon heterozigotluk için ve dolayısıyla canlı için önemli bir avantajdır. Heterozigot halde iken örtülerek etkisi görülmeyen kötü tesirli resesif gen veya genler homozigot hale geldiklerinde kötü etkilerini gösterirler. Eğer mevcut popülasyonda kötü etkili herhangi bir gen/genler yok ise hangi düzeyde akrabalı yetiştiricilik uygulanırsa uygulansın popülasyonda resesif zararlı gen/genlerle ilgili bir dejenerasyonu görmek mümkün değildir. Bu nedenle, akrabalı yetiştirme bu olumsuzluğu yaratan durumun kendisi değildir. Sadece homozigotluğu arttırmak suretiyle heterozigot halde gizli kalmış mevcut resesif özellikleri ortaya çıkarır.

Bal arısında yakın akrabalı yetiştiricilik ile birlikte resesif durumdaki genlerin ortaya çıkmalarının yarattığı olumsuzluğa ilave olarak, cinsiyet lokuslarındaki allel genlerin homozigot yapıda olmalarına sebep olduğundan önemli düzeyde olumsuz etkisi vardır. Cinsiyet lokuslarında homozigotluğun artışına bağlı olarak homozigot diploid birey sayısında artış meydana gelmekte ve bunlardan da erkek bireyler oluşmaktadır. Bu nedenle bal arılarında yakın akrabalı yetiştiricilik diğer canlılardan farklı olarak beraberinde birçok zorluğu da getirmektedir. İleri derecede akrabalı yetiştirilmiş kolonilerde kapalı yavru sahasındaki yavru gözleri dağınık bir hal gösterir. Yavru gözlerinin bir kısmı dolu bir kısmı boştur, yavru karışık yaştadır ve deforme olmuş yavru olarak adlandırılan bir yapı gösterir. Akrabalı yetiştirme düzeyi arttıkça cinsiyet lokuslarındaki allel gen benzerliği de artar. Bunun bir sonucu olarak kolonide yavru yaşama gücü azalır. Bu nedenle akrabalı yetiştirilmiş hatları korumak zordur. Uzun çaba ve gayretler sonucu oluşturulan hatlar çok çabuk ve kolayca kaybedilirler.

İleri düzeyde homozigotluktan ötürü meydana gelecek olumsuzlukları bertaraf etmek amacı ile popülasyona uygulanan akrabalı yetiştirme programlarında aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınır.

- Haploid sistemde, popülasyonun gen havuzu zararlı etkiye sahip allel gen bulundurmamalı
- Akrabalı yetiştirme düzeyi dejenerasyona sebep olmayacak düzeyde tutulmalıdır
- Bal arılarında heterosis yapı morfoloji, davranış ve ekonomik değer ifade eden birçok karakterde görülebilir.
- Cinsiyeti belirleyici durumdaki allel gen yapısı dikkate alınmalıdır.

5.2.6. Yakın Akrabalı Yetiştiriciliğin Tespiti

Akrabalı yetiştirme katsayısı, diploid bireylerin cinsiyet allellerinde homozigot hale gelen genlerin oranlarını belirlemekle saptanır. Akrabalı yetiştirilmiş popülasyonlarda cinsiyet allellerini oluşturan gen yapısını belirlemek amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bununla ilgili iki önemli yöntem bulunmaktadır.

1. Yavru yaşama gücünü belirlemek
2. Diploid erkek larvaları saymaktır.

Yöntem genelde farklı kolonilerden yetiştirilen 60-70 kadar ana arının tümünün başka bir koloniden yetiştirilen birer erkek arı ile döllenmesine dayanır. Burada allel gen frekans dağılımının eşit ve çiftleşmelerin tesadüfi gerçekleştiği varsayılır.

5.2.6.1. Yavru Yaşama Gücünün Belirlenmesi

Yavru yaşama gücü önemli bir ekonomik özelliktir. Bir popülasyondaki cinsiyet alleli gen sayısı arttıkça ve ana arının çiftleştiği erkek arı sayısı fazlaştıkça cinsiyet allellerinin homozigot olarak bir araya gelme olasılığı azalır ve yavrunun yaşama gücü artar. Yavru yaşama gücü bir kolonide aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenir. Yapay tohumlamayı gerekli kılan bir yöntemdir.

$$YG = 1 - (n/2K)$$

Burada;

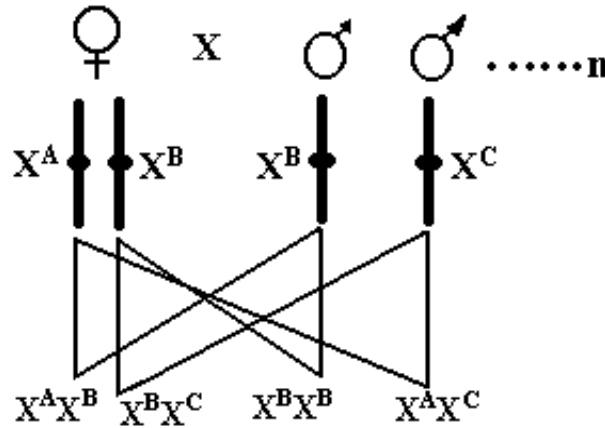
n = ana arı ile çiftleşen ve ana arı ile benzer cinsiyet allellerine sahip olan erkek arı sayısı

K = ana arı ile çiftleşen toplam erkek arı sayısını ifade eder.

Bunu bir örnekle ifade etmek gerekirse. Örneğin cinsiyet lokusları $X^A X^B$ allellerine sahip bir ana arı, cinsiyet lokusu X^B olan bir erkek arı ile çiftleştiğinde $[(X^A X^B) \times (X^B)]$, $X^A X^B$ ve $X^B X^B$ genotipinde bireyler meydana gelecektir (Şekil 136).

Bunlardan sadece $X^A X^B$ genotipindeki bireyler ergin hale gelebilecekleri için yavru yaşama gücü %50 olur. Yani ana arının yumurtladığı yumurtaların yarısı diploid erkek olması sebebiyle koloninin gelişme hızı düşer.

Yine cinsiyet lokuslarında $X^A X^B$ allel genlere sahip olan bir ana arı aşağıda cinsiyet lokuslarında genotipleri belirtilen erkek arılarla çiftleştiğinde yukarıda verilen eşitliğe göre yavrunun yaşama gücü oranı veya oranları Tablo 26'da verildiği şekilde oluşacaktır.



Şekil 136. Ana ve erkek arı cinsiyet lokuslarındaki allel gen yapısına bağlı yavru yaşama gücünde meydana gelen değişim.

Tablo 26’da görüldüğü gibi 2, 3, 4, 5 ve 6. sıralardaki erkek arılardan sadece bir tanesi ana arı ile benzer cinsiyet alleleline sahip olmasına rağmen, ana arının çiftleştiği erkek arı sayısı arttıkça yavrunun yaşama gücü yükselir. 6, 7, 8 ve 9. sıralarda ise ana arının çiftleştiği erkek arı sayıları aynı (10) olmasına rağmen cinsiyet allelleri sayısı azaldıkça veya ana arı ile çiftleşen ve onunla aynı cinsiyet alleleline sahip erkek arı sayısı arttıkça yavru yaşama gücü azalır ve larva ölüm oranı artar. Arı kolonilerinde kuluçkalık çerçeveler üzerinde kapalı yavru düzeni dağınık ve yaş olarak da farklılık gösteriyor ise bu durum yukarıda izah edilen sebebin bir sonucudur ve koloni için bir depresyon kaynağı oluşturur.

Tablo 26. Ana ve erkek arı cinsiyet lokuslarındaki allel gen yapısına bağlı yavru yaşama gücünde meydana gelen değişim değerleri

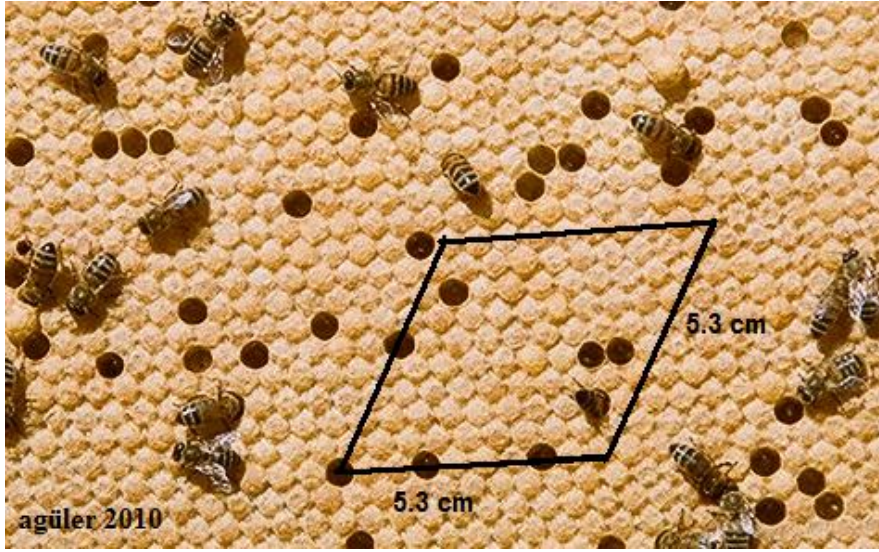
Ana arı cinsiyet lokusu	Erkek arıların cinsiyet lokusu	Yavru yaşama gücü (Y.G.)
$X^A X^B$	X^c	$Y.G.=1-(0/2)= 1.00$
$X^A X^B$	X^A	$Y.G.=1-(1/2)= 0.50$
$X^A X^B$	X^A, X^c	$Y.G.=1-(1/4)= 0.75$
$X^A X^B$	X^A, X^c, X^D	$Y.G.=1-(1/6)= 0.833$
$X^A X^B$	X^A, X^c, X^D, X^E	$Y.G.=1-(1/8)= 0.875$
$X^A X^B$	$X^A, X^c, X^D, X^E, X^K, X^L, X^D, X^E, X^F, X^G$	$Y.G.=1-(1/20)= 0.95$
$X^A X^B$	$X^A, X^c, X^D, X^B, X^K, X^D, X^E, X^F, X^G, X^L$	$Y.G.=1-(2/20)= 0.90$
$X^A X^B$	$X^A, X^c, X^D, X^B, X^K, X^A, X^D, X^E, X^F, X^L$	$Y.G.=1-(3/20)= 0.90$
$X^A X^B$	$X^A, X^c, X^D, X^B, X^E, X^A, X^D, X^B, X^F, X^E$	$Y.G.=1-(4/20)= 0.80$

Kaftanoğlu, 1991

5.2.6.2. Diploid Erkek Arı Larva Sayımı

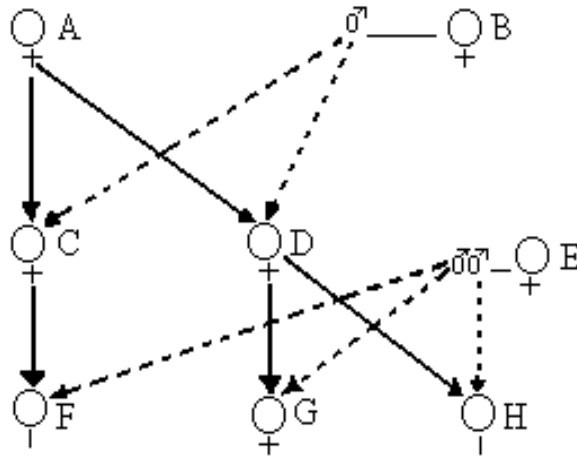
Diploid erkek arı oluşumundan meydana gelen boş yavru gözlerinin tespiti ise çok daha kolay bir yöntemdir. Kolonilerde yumurtlamanın iyi olduğu mevsimde hafif kahverengi tonda iyi kabartılmış bir petek kovanda yavrulu çerçevelerin ortasına yerleştirilir. Bu peteğe ana arının yumurtladığı belirlenir. Kovana verilişinden 12 gün sonra petek alınır. Peteğin üzerinde herhangi bir gözden başlayarak 10 yavru gözü yatay ve 10 yavru gözü dikey olacak şekilde işaretlenir. Böyle bir işaretleme yapıldığında meydana gelen şekil dikdörtgen yapıda olur. Bu dikdörtgenin içerisindeki toplam yavru gözü sayısı ise 100’dir. Daha sonra bu 100 adet gözden boş olanlar sayılır (Şekil 137). Eğer bu 100 yavru gözünden 25 adedi veya buna yakın kısmı boş ise bu durum ana arının cinsiyet allellerinde benzer gene sahip bir erkek arı ile çiftleştiğini ve yakın akrabalı yetiştiricilikten kaynaklanan bir

oluşumun söz konusu olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, tecritli çiftleştirme bölgelerinde erkek arı ihtiyacı tek koloni yerine birçok koloni (en az 6)'den temin edilmelidir.



Şekil 137. Kolonide diploid erkek arı oluşumunun tespiti.

Belirtilen bu olumsuzluklar sebebiyle populasyonda homozigotluk düzeyinin bilinmesi ıslah çalışmaları için önemlidir. Bal arılarında basit çiftleştirme sistemleri sayesinde akrabalı yetiştiriciliği kontrol etmek ve üstün performanslı ana arılar yetiştirmek her zaman mümkündür. Aşağıda 138 nolu şekilde gösterilen çiftleştirme yöntemi buna bir örnek olarak verilmiştir.



Şekil 138. Akrabalık depresyonunu önlemek üzere kızkardeşlerden yararlanma (Rinderer, 1986).

Önce A ana arısı B ana arısının bir erkeği ile çiftleştirilir. Bu çiftleştirmenin döllerı olan C ve D ana arıları üretilir ve bunlar deneme kolonilerinin başlangıcını oluştururlar. Bu süper kızkardeş ana arılar (C ve D), bunlarla akrabalık ilişkisi olmayan E kolonisi erkek arıları ile çiftleştirilir. E kolonisi bir hat konumunda da olabilir. Böylece üstün üreme etkinliğine sahip deneme (F, G ve H) kolonileri oluşturulur (Şekil 138). Bu düzenleme ile populasyondaki bireylerin akrabalık düzeyleri aşağıda görüldüğü şekilde gerçekleşir.

$$R_{CD} = CAD(1/2)^2 + CBD(1/2) = 0.75$$

$$R_{GH} = GDH(1/2)^2 + GEH(1/2)^2 = 0.5$$

$$R_{FG} = FCADG(1/2)^4 + FCBDG(1/2)^3 + FEG(1/2)^2 = 0.4375 \text{ olur.}$$

Bütün bunlar, bal arılarında çok farklı çiftleştirme kombinasyonlarının yapılabilir olduğunu göstermektedir. Bu sayede birçok özel amaç için örneğin; uysal davranışlı, bal verimi yüksek ve hastalıklara dirençli genetik stoklar geliştirmek mümkündür. Üstünlüğü kanıtlanan ana arılardan binlerle ifade edilecek sayıda erkek arı üretilebilir. Her bir erkek arıdan da haploid yapıda yaklaşık on milyon sperm almanın mümkün olduğu dikkate alındığında, bu yapının arıda ıslah yönünden ne kadar büyük bir avantaj sağladığı kolayca anlaşılmaktadır.

5.2.7. Yakın Akrabalı Yetiştirilmiş Bir Populasyona (Arılığa) Dışarıdan Gen Aktarımı

Diğer evcil hayvanlarda bu uygulama daha çok kan katma veya kan tazeleme olarak tanımlanır. Akrabalı yetiştiricilikte, ileri düzeyde homozigotlaşmanın önüne geçilmesi zorunlu bir hal alır. Bu nedenle bir taraftan da istenmeyen allel genlerin populasyondaki oranlarının asgari düzeyde tutulmasına dikkat edilir. Arılığa veya populasyona ilave edilecek allel genler önce üstün özellikteki materyallerle test edilir. Bu amaçla dışarıdan temin edilen test ana arıları arılıktaki üstün özellikteki (ıslah) kolonilerin erkek arılarından alınan ve homojen hale getirilen spermle yapay döllendir. İki farklı cinsiyet alleline sahip olan bu ana arıların bulundukları kolonilerde yavru yaşama gücü yaklaşık %100 düzeyine çıkar. Bu testlerde farklı iki cinsiyet alleline sahip olduğu tespit edilen ana arılar akrabalı yetiştirme sürüsüne dahil edilir. Yüksek oranda gen frekansının sağlanması için test edilmiş ve seçilmiş analardan yetiştirilen çiftleşmemiş ana ve erkek arıların akrabalı yetiştirme sürüsüne dâhil edilmeleri bir kuraldır. Populasyonun sahip olduğu gen frekansı yaklaşık bir tahminle aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$GF = 2(1-\bar{O})/3-2S$$

Burada;

\bar{O} = Akrabalı yetiştiriciliğin uygulandığı populasyonda yavru yaşama gücü

S = Akrabalı yetiştiriciliğin uygulanmadığı populasyonda ortalama yavru yaşama gücü oranlarıdır.

5.3. Melezleme

Melezleme, farklı ırk, soy ve hatlar arasında yapılan çiftleştirmelerdir. Bu yetiştirme şekline melez yetiştiriciliği, elde edilen döllere de melez döl adı verilir. Bal arısında uygulanan ırklar arası melezleme, her hangi bir ırktan elde edilmiş saf hat ana arıların bir başka ırktan elde edilmiş saf hat erkek arılarla izole bölgede veya yapay tohumlama yoluyla çiftleştirilmeleri esasına dayanır.

Cinsiyet lokuslarındaki allel genlerin farklı yapıda olması bireye yüksek yaşama gücü ve kuluçka üretim etkinliği sağlar. Bu yapı cinsiyet lokuslarında heterozigot oluşumla mümkündür. Bu üstünlük daha çok farklı cinsiyet allellerine sahip birey veya gruplar arası çiftleştirmelerle gerçekleşir. Arı ırk, soy ve hatları arası melezlemenin en önemli amacı yüksek düzeyde heterozigotluk yakalamaktır. Bu amaçla akraba gruplar veya familyalar önce bu karakter veya karakterler yönünden yüksek düzeyde homozigot yapıya kavuşturulur. Bu yapı, ekonomik nitelik taşıyan karakterlerin gelecek döl generasyonuna daha güvenle geçişini sağlar.

Arıcılıkta uzun yıllardan beri ırklar ve akrabalı yetiştirilmiş hatlar arasında melezleme çalışmaları yapılmaktadır. Ancak ırklar arası melezlemelerde heterosis etkisinin her zaman görülmemesi, hırçınlık gibi arzu edilmeyen bazı karakterlerin ortaya çıkması ve saf ırklara ait

coğrafyalarda üçlü ve dörtlü melezlemede erkek arıların genetik karışıma sebep olmalarından dolayı ırklar arası melezleme tercih edilmemektedir. Buna alternatif olmak üzere son yıllarda aynı ırk içerisinde geliştirilen soylar ve akraba hatlar arası melezleme veya kapalı populasyon arı ıslahı önem kazanmıştır.

5.3.1. Hibrit Üretimi

Yüksek düzeyde heterosis elde edilmesi saf hatların melezlenmesiyle mümkündür. Hibrit arı üretimi, arı ıslah programlarında esas uygulamaları oluşturur. Bunun temeli ABD’de 1940’lı yıllarda atılmış, çok büyük kaynaklar harcanmış, büyük emekler ve çabalar ortaya konmuştur. Mükemmel olarak nitelenecek düzeyde üniform ve verimli hibritler üretilmiştir. Bunlar dünyada pazarlanan üstün verimli ticari stokların esas kaynaklarını oluşturmaktadır. Arıda ıslah ve verimi artırmaya yönelik çalışmaların tümü bu düşünceden gücünü almaktadır.

Hibrit arı üretiminin en önemli özelliği, bu sistemin bir sürekliliğinin olması ve bu sürekliliğin de verim artışına paralel yürütülmesidir. Bu nedenle her yıl yeni kombinasyonlar meydana getirilir ve bunlardan en iyi kombinasyonu gösterenler hibrit yetiştiriciliği için üretime sokulur. Bir hibrit’in kombine özelliklere sahip olması ise her zaman arzulan bir husustur. Uygun hibrit kombinasyonlarının genelde saf ırklardan %30 düzeyinde daha fazla verim verdikleri ve hibritlerin saf ırklardan çoğunlukla üstün bir kuluçka üretimi, kışlama yeteneği, ergin arı gelişimi ve yaşama gücü yeteneği ortaya koydukları belirlenmiştir.

Hibritler üstünlüklerini dominans etkiden alır. Dominant gen her zaman resesif allelinden daha fazla etkiye sahiptir. Hibritte birçok lokusta ve çok sayıda dominant oluşum gerçekleşir. Bütün lokuslardaki üstünlüğün toplamı hibrit bireye daha büyük bir üstünlük kazandırır. Örneğin hatlardan biri herhangi bir karakter yönünden lokusların birinde dominant (AA) öteki lokus yönünden resesif (bb) ve bir diğer hat ise bu karakter yönünden birinci lokusta resesif (aa) ve ikinci lokusta da dominant (BB) yapıda ise, ve bu iki hat çiftleştirildiğinde hibrit bireyde her lokusta dominant gen (AaBb) bulunacak ve üstün etkilerini gösterecektir. Hibritler genelde saf hat niteliğindeki her iki ebeveyninden daha üstün bir performans gösterirler. Hibritlerin üstünlüklerinin bir diğer sebebi ise heterozigotluğun sağladığı avantajdır. Heterozigot bireyler homozigotlardan daha üstün yaşama gücü gösterirler.

Hibrit arı yetiştiriciliği dünya genelinde istenen seviyeye henüz gelememiştir. Çünkü uygun bir hattın geliştirilmesi hem pahalı hem de bozulmadan muhafazası oldukça zordur. Daha da önemlisi ıslah programının geliştirilmesi için, hatların iki cinsiyet lokusundaki allel genler yönünden uyumlu olması gereklidir.

5.3.2. Hat Yetiştiriciliği

Hat, akrabalık düzeyleri bilinen ve aynı genetik (ırk, soy, ekotip) kaynaktan gelen ana arı grubudur. Aralarında gerçek anlamda kanıtlanmış akrabalık ilişkisi bulunan ana arılardır. Aslında hatlar, familyanın daha geniş bir akraba grubunu temsil eden birimlerdir. Hat yetiştiriciliğinin en önemli işlevi üstün özelliklere sahip kolonilerden ana arı/arılar yetiştirmektir. Yakın akrabalı yetiştiriciliğe dayalı olarak elde edilen hatların en büyük avantaj ve kullanım amacı ise, her allel gen bakımından homozigotluğu yüksek genotipte ana arı grupları oluşturmak ve bu gruplar arası çiftleştirmelerle melez azmanlığı (heterosis) elde etmektir. Yüksek düzeyde akrabalı yetiştiriciliğin uygulandığı bu hatlar zamanla dejenerasyon gösteren birer populasyon haline dönüşürler. Bu tür dejenerasyon gösteren gruplar arası çiftleştirmelerde melez azmanlığı yakalama şansı yüksek olur. Bir

hattı uzun süre saf olarak muhafaza etmek mümkün değildir. Bu nedenle zaman zaman farklı soylardan elde edilmiş hatlar arası melezlemeler yapılır ve bunlardan en uygun olan kombinasyonlar üretim amacıyla kullanma kolonisi olarak bulundurulur.

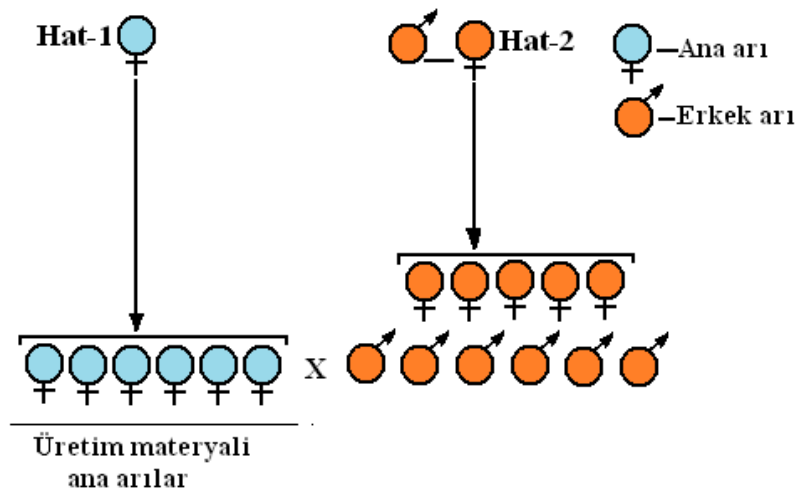
İslah programında ana ve baba olacak ırk, soy ve hatlar eşit şansa sahip olmalıdır. Eğer bunlardan birisine daha fazla önem veya ağırlık verilir veya babanın önemli etkisi dikkate alınmaz ise bu ıslah uygulaması anlamını yitirir. Hat yetiştiriciliğinde çalışılacak karakter/karakterleri belirlemek, kalıtsallık düzeyleri kesin bir şekilde belirlenmiş hatlarla yapılacak çapraz melezleme sonucunda ortaya konulur.

5.3.2.1. Hat Oluşturma

Hat oluşturmaya önce 90-100 gibi önemli sayıda koloni popülasyonunun aynı coğrafya, aynı arılık ve her türlü çevrenin eşit olduğu koşullarda bir sezon içerisinde performanslarının test edilmesi ile başlanır. Bu popülasyon içinden çalışılan karakterlerce yeterli görülen birkaç ana arı sekte edilir. Bu ana arıların her birisi ile bir hat oluşturma planlanır. Hatların her birinin farklı fenotipik yapıda olması istenir. Çünkü ileride yapılacak hatlar arası melezlemeler gücünü bu fenotipik farklılıktan alacaktır. Bir hibritin üstünlüğü, genetik varyasyon düzeyi veya heterozigotluk düzeyine bağlı artar. Örneğin seçilecek olan ana arıların tümünün benzer renkte olmaları istenmez. Bazıları sarı, bazıları siyah diğer bir kısmının ise bunlar arası veya daha farklı renk tonunda olmaları istenir. Ana arıların vücut uzunluğu yönünden de bazılarının ince uzun, bazılarının ise kısa tombul olmaları istenir. Ayrıca, bu ana arıların sahip oldukları koloni davranışlarının da farklı yapıda olmaları arzulanır.

Hatlar, Şekil 140'da görüldüğü gibi performans testine tabi tutulmuş ana arı grupları üzerine kurulur. Bu kızkardeş ana arılar ($X_1, X_2, X_3 \dots X_{10}$) ileri düzeyde homozigot genetik yapı oluşturmak üzere farklı çiftleştirme yöntemlerine tabi tutulurlar.

Hatlar kendi içlerinde ileri düzeyde homozigot hale getirildikten sonra karşılıklı melezlemeye tabi tutulurlar. Oluşturulan hatlar arasında ikili, üçlü ve dörtlü melezlemeler yapılır (Şekil 139 ve 140). En iyi kombinasyonu ortaya koyan melezlerin ebeveynleri çoğaltılarak ticari üretime geçiş aşamasına gelinir. Bütün bu ıslah uygulamaları ve bunun ürünü olan damızlık materyal ana arı üretimi ıslahçı kuruluşlar tarafından yürütülür.



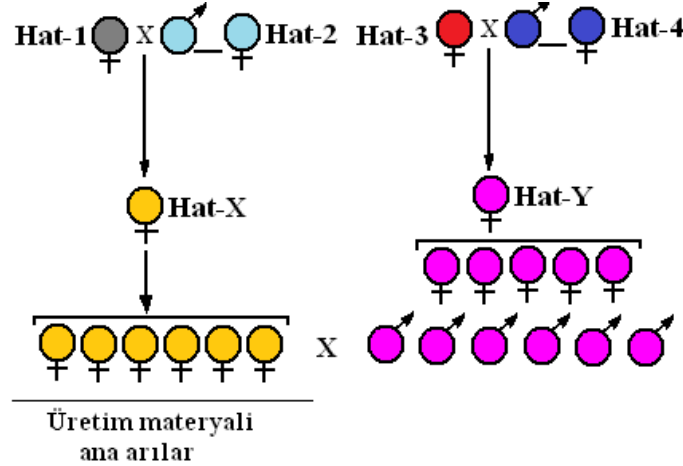
Şekil 139. İkili hat melezlemesi.

Ayrıca, ileri düzeyde homozigotluktan kaynaklanan düşük yavru yaşama gücüne ilişkin yetersizliği ortadan kaldırmak amacıyla üçlü ve dörtlü hat melezlemesi yöntemine başvurulur. Üçlü

hat melezlemesinde, kullanma melezlerinin ana arıları her generasyonda iki ayrı hattın melezlemesinden elde edilir ve bunlar mevcut hatların birisine ait ana arılardan üretilen erkek (baba) arılarla çiftleştirilir. Dörtlü hat melezlemesi yapılmak istendiğinde ise, önce iki farklı hat kullanma materyalinin ana tarafını oluşturmak üzere birbirleriyle çiftleştirilir (Hat1 x Hat2). Bu melezlemeden üretilen ana arılar bir işaret (X) ile sembolize edilirler. Yine kullanma materyalinin baba tarafını oluşturmak üzere iki farklı hat (Hat3 x Hat4) birbirleriyle çiftleştirilir. Bu melezlemeden üretilen ana arılarda bir işaret (Y) ile sembolize edilirler. Bu çiftleştirmelerle elde edilen tüm ana arılar melezdirler. Bu aşamada hat sayısı ikiye inmiştir. Daha sonra ilk iki hattın melezlemesinden üretilen ve X olarak sembolize edilen ana arıların kızları ile ikinci iki hattın melezlemesinden üretilen ve Y olarak sembolize edilen ana arıların kızlarının oğulları (erkek arılar) çiftleştirilir ve üretim (kullanma) materyali ana arı/arılar üretilir (Şekil 140).

Yüksek verimli dörtlü kombinasyon elde edebilmek için önce çok sayıda akraba hattın geliştirilmesi gereklidir. Akraba hatlardan hangilerinin çiftleştirildiklerinde daha üstün verim vereceklerini belirlemek amacıyla çapraz (reciprocal) melezlemeler yapılır. Bunun için de çok sayıda koloni ve kapsamlı bir çalışma gereklidir. Bu sistem hat geliştirme ekonomik anlamda büyük maliyet gerektirir. Bu olumsuzluklar ve üstün hibritlerin üretilmesi bir bölgedeki büyük işletmeler ve birkaç özel yetiştiricinin dâhil edildikleri ortak işbirliği projeleri ile başarılabılır.

Üstünlükleri kanıtlanan bu hatların ilerisi için bu üstünlükleri yeterli görülmeyebilir ve bu sorunun aşılması için, bu hatların her birinin kontrol popülasyonu ile yapılacak melezlemelerle özel ve genel kombinasyon kabiliyetleri arttırılmaya çalışılır. Burada ıslah hattını temsil eden popülasyon her generasyonda kontrol popülasyonuna göre en yüksek fenotip değer gösteren döllere göre seçilirler. Bu yetiştiriciliğe her yıl melez döl popülasyonunda tatmin edici bir performans seviyesine erişilinceye kadar devam edilir. Bu yöntem ile ıslah popülasyonunun kontrol popülasyonundaki genlerle interaksiyon yapan genlerinin frekanslarını artırma amaçlanmaktadır.



Şekil 140. Dörtlü hat melezlemesi (Düzgüneş ve ark., 1987).

Ana arı üreticisi kullanma materyali ana arı üretmek üzere ıslahçı kuruluştan yapay tohumlanmış X ve Y hatlarını temsil eden damızlık nitelikteki bu ana arılardan satın alır. Satışa sunacağı üretim (kullanma) materyali ana arıları, satın aldığı bu ana ve baba hatlarından üretir. Daha sonra ana hattından ürettiği ana arılar ile baba hattı ana arılardan ürettiği erkek arıları çiftleştirme istasyonunda bir araya getirip çiftleşmelerini sağladıktan sonra ana arıları satışa sunar.

Hibritler üstünlüklerini ilk melez generasyonda gösterirler. Daha sonra yapılacak çiftleştirmelerde bu üstünlüklerini kaybederler. Bu nedenle hibritlerden yeniden hibrit veya kullanma

ana arısı üretilemez. Bu sebeple, üretilen hibrit ana arılar her yıl satılmalı ve yeni kombinasyonların üretimine devam edilmelidir. Bu sistem daha çok, yetiştiricilerin her iki yılda bir bu hibrit ana arılardan satın alarak ana arıyı yenilemeyi benimsemeleri ile mümkündür. Tabi ki bu da ancak yetiştiriciye verimde en az ortalama %10-15 düzeyinde veya koloni başına ortalama 8-10 kg'lık verim artışı sağlaması ile süreklilik kazanabilir. Bütün bunlar dikkate alındığında hibrit arı üretimi daha çok büyük işletmelerin varlığıyla ve yetiştiricilerin hibrit ana arı kullanımını benimsemeleri ve buna inanmaları ile başarılabilir. Aynı zamanda ırklar arası hibrit üretimi büyük işletmelerin varlığı yanı sıra yetiştiriciliğin uygulandığı bölgenin zengin nektar kaynaklarına da sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Aksi halde florası iyi olmayan bölgelerde bu üstün özelliklere sahip hibrit ana arıların kullanımı israftan başka bir şey değildir.

5.3.2.2. Homozigotluğun Arttırılması

Saf hat, esas itibarıyla vejetatif olarak çoğaltılabilen bitkiler için söz konusudur. Uzun süre kendi çiçek tozlarıyla döllenerek üreyen bitkilerin döller kendilenmiş saf hatlara çok yakındırlar. Kendileme, aynı bitkinin cinsiyet organlarında meydana gelen çiçek tozları veya diğer anlamıyla erkek gamet hücresi ile yumurta hücresinin birleşmesi olduğundan akrabalar arası çiftleştirmenin en ileri şeklidir. Söz konusu bu yetiştirme şekli diğer çiftlik hayvanları için geçerli olmamakla birlikte bal arısı için mümkün olan bir yöntemdir. Çünkü ana arı kendi genomunun temsilcisi olan yumurta hücresinden hem erkek hem de dişi gamet hücresi üretebilmektedir. Bu nedenle bal arılarında kendileme yöntemini uygulamak mümkündür. Daha önce de bahsedildiği gibi bal arısı kendine uyumsuz hermafrodit bir canlıdır. Arıda homozigotluk, yapay tohumlama yönteminin kontrollü uygulanmasıyla mümkün olmaktadır.

Üniform hibrit üretiminin güvenilir yolu hatlarda arzulanan karakter veya karakterleri ileri düzeyde saflaştırmaktır. Bir hatta hızlı bir homozigotluk elde etmek için ileri düzeyde saf yetiştiricilik veya akrabalı (inbreeding) yetiştiricilik gereklidir. İleri düzeyde saf yetiştiricilik ebeveyn yavru, erkek kızkardeş veya kuzen gibi aralarında akrabalık ilişkisi bulunan bireyler arası çiftleştirmelerle gerçekleştirilir. Bu çiftleştirmeler bu bireylerde arzulanan karakterlerin homozigotluğunu, gen frekansının artışı veya yavruların genetik benzerliğini artırır. Homozigotluğun hızlı oluşumu sayesinde homozigotluk derecesi daha güvenilir bir şekilde gerçekleşir, melezlemeye daha erken başlanır ve amaca daha kısa sürede ulaşılır. Böylece heterosis göstermeyen materyalin gereksiz yere elde tutulması engellenir ve yapılan masraf azalır.

Bir popülasyonda yakın akrabalı (inbreeding) yetiştiriciliğe, popülasyonun farklı ailelere ayrılması ile başlanır. Her aile kendi içinde homojen bir hale getirilirken aileler arasında ise yüksek düzeyde varyasyon olması istenir. Ekonomik değer ifade eden yavru yetiştirme etkinliği ve hastalıklara dayanıklılık gibi karakterler hat oluşturulduktan sonra daha etkili bir şekilde kendini gösterir. Aksi halde ana veya erkek arı bireylerinde bu karakterler belirlenemez.

Ana arılar seçildikten sonra sıra hatların saflaştırılmalarına (inbreeding) gelir. Hangi çiftleştirme yönteminin ne kadar sürede ve hangi düzeyde homozigotluk veya akrabalık sağladığının bilinmesi bu aşamada önemlidir. Yakın akrabalı yetiştirme (inbreeding) düzeyi, aslında seçilen hatların başlangıçta heterozigot olan yapılarının hangi düzeyde homozigotlaştığıdır. Bu düzey popülasyonun saflığında meydana gelen ilerlemeye bağlıdır. Bu akrabalı yetiştirme düzeyi ile belirlenir. Yeğen-hala, kız-erkek kardeş veya ana arıya geriye melezleme yöntemlerinin tümünün akrabalı yetiştirmede sağlayacakları homozigotluk düzeyi ilk iki generasyonda aynıdır. Baba-kız veya ana-oğul çiftleştirilmesi bu

bireylerin tek olmaları sebebiyle kaybolma ve dolayısıyla sonuçta hattın kaybolma riski sebebiyle önerilmez. En güvenilir yöntem erkek ile kızkardeş çiftleştirilmesidir. İlk önce iki generasyon ana arıya geriye melezleme yapılır ve bunun devamında erkek kız kardeş çiftleştirilmesine geçilir. Anaya geriye melezlemede her generasyonda % 37.5 düzeyinde homozigotluk gerçekleşir. Her çiftleştirmede mümkün olduğunca fazla sayıda erkek arıdan yararlanılır.

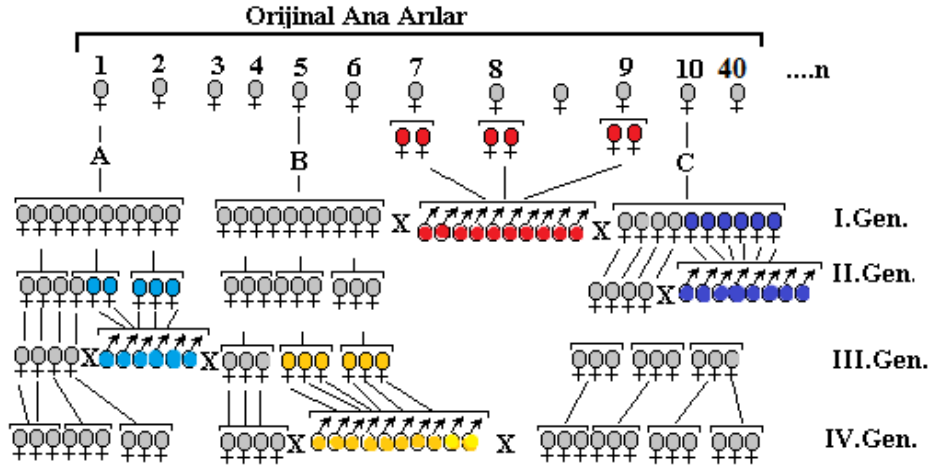
Kolonide ana arının yumurtladığı yumurtaların ergin hale gelme düzeyleri %50 düzeyinde olur ise bu tür koloniler güçlü işçi arı popülasyonu oluşturamaz ve gerçek verim düzeyleri, oğul eğilimleri ve kışlama yetenekleri güvenli bir şekilde belirlenemez. Bu homozigot oluşum bu tür kolonilerin seleksiyonda seçilme şanslarını da azaltır.

5.3.2.3. Homozigotluğun Kontrolü

Homozigotluğun sağladığı birçok avantajın yanı sıra, bu sistem (inbreeding) yetiştiricilik sebebiyle popülasyonda canlılık düşer, temizleme davranışı azalır, seleksiyon üstünlüğü düşer ve yavru ölüm oranının artması gibi birçok olumsuzluk görülmeye başlar. Bu olumsuzluk, Şekil 141’de görüldüğü gibi ancak her generasyonda çok sayıda hat ve her hattan da çok sayıda ana arıyı değerlendirilerek giderilebilir.

Bu amaçla, Ruttner (1988) tarafından önerilen ve daha önceki bölümde de anlatıldığı gibi başlangıçta mevcut popülasyondan 3 veya 4 hat geliştirilir. Bu hatlarda homozigotluktan ötürü meydana gelecek akrabalı yetiştirme dejenerasyonunu bertaraf etmek için her yıl rotasyonlu olacak şekilde hatlardan biri baba olarak seçilir. Bir hattan yetiştirilen erkek arılar çiftleştirme bölgelerine nakledilir ve burada tüm ana arılarla çiftleştirilir veya hatları temsil eden tüm ana arılar seçilen hattın erkekleriyle yapay tohumlamaları yapılır. Bu yöntemde yetiştirilen erkek arılar kendi hatlarından ana arılarla da çiftleşirler ve bu sistem çiftleştirmeye saf hat yetiştirme adı verilir. Burada her biri bir hattı temsil edecek olan A, B ve C ana arıları daha önce performans testinden başarılı bir şekilde geçmiş olan ana arı gruplarıdır. Arılıktaki diğer kolonilerden (7, 8 ve 9 numaralı) erkek arı üretimi amacıyla ana arı yetiştirilir (Şekil 141).

Islahın birinci yılında, her biri bir hat oluşturacak olan A, B ve C kolonilerinin her birinden 10’ar adet ana arı yetiştirilir. Bu ana arılar 7, 8 ve 9 numaralı kolonilerden yetiştirilen ana arılardan üretilen erkek arılarla (baba) çiftleştirilerek birinci generasyon elde edilir. İkinci yılda baba olarak yararlanılacak erkek arılar C hattı kolonilerinden üretilir ve A, B, ve C hatlarının her birinden yetiştirilmiş 10 ‘ar adet ana arı ile çiftleştirilir ve ikinci generasyon elde edilir. Üçüncü yılda, erkek arılar A hattı kolonilerinden yetiştirilir ve A, B ve C hatlarından yetiştirilen ana arılarla çiftleştirilir ve üçüncü generasyon elde edilir. Islahın dördüncü yılında, erkek arılar B hattı kolonilerinden yetiştirilir ve A, B ve C hatlarından yetiştirilen ana arılarla çiftleştirilir ve dördüncü generasyon elde edilir. Islah çalışmasına devam edildiği sürece bu rotasyonlu sistem ile baba tarafını oluşturacak erkek arı kullanılarak yöntem sürdürülür.



Şekil 141. Yakın akrabalılığın kontrolü (Ruttner 1988'den uyarlanmıştır).

Bu yöntem hat yetiştiriciliğinde 30 yıl gibi bir süre içerisinde yakın akrabalı yetiştiricilikten kaynaklanan bir sorunun meydana gelme olasılığı düşüktür. Hat oluşturulurken, bir tek koloni ile işe başlanılmamalı ve bu amaçla her biri 10'ar adet kızkardeşten oluşan gruplar oluşturulmalıdır. Bu sistemde her generasyonda her hattın ana arı yetiştirmek için en az üç koloni ve erkek arı yetiştirmek (baba) için de en az 6 koloniden yararlanılır.

5.3.2.4. Kullanma Materyali Ana Arı

Ticari ana arı üreticisi, damızlık nitelikteki bu hatlardan kendi işletmesinde üreteceği ana arı miktarına göre yapay tohumlanmış ana arıyı ıslahçı işletmeden satın alır. Bu ana arıların bir kısmı kullanma materyali ana arıların ana hattını, diğer bir kısmı ise kullanma materyali ana arıların baba hatlarını temsil edecektir. Erkek arı üretimi amacıyla baba hattını temsil eden ana arı/arılardan 50-60 adet kızkardeş ana arı yetiştirilir ve bunların doğal çiftleşmeleri sağlanır. Ana hattını temsil eden ana/analardan ise kullanma materyali yani ticari amaçla yararlanılacak ana arılar üretilir. Bu ana arılar baba tarafını oluşturan erkek arılarla bir çiftleştirme bölgesinde çiftleştirilir ve satışa sunulur.

5.4. Arı İslahında Kapalı Populasyon Yetiştiriciliği

İrklar arası melezleme ile başarılı hibritler üretilmesine rağmen bu konu beraberinde birçok problemi de getirmiştir. Bu durum, araştırmacıları daha ucuz ve çok zor olmayan ıslah programlarını geliştirmeye yöneltmiştir. Bu amaçla geçmişte akrabalı hibrit üretimi için uygun olan ancak kabul görmeyen kapalı populasyon arı ıslahı 1980'den sonra yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Akrabalı hat geliştirmede olduğu gibi kapalı populasyon arı ıslahında da genetik materyalin kontrolü ve saflığının muhafazası ancak yapay tohumlama veya izole bölge oluşturmak ile mümkündür. Adından da anlaşıldığı gibi dışarıdan her türlü gen girişine kapalı bir ıslah yöntemidir.

Başlangıçta mümkün olduğunca çok sayıda (binlerce) koloniden yararlanma hedeflenir. Çünkü az sayıda koloninin bulunduğu bir populasyonda cinsiyet allellerindeki genlerin benzer olma riskleri her zaman yüksektir. Bu yöntemde mevcut sürünün genetik yapısını iyileştirme üzerine kurulur. Sürü içerisinde en iyi performansı ortaya koyan bir kısım koloniden ana arı yetiştirilir ve yine diğer bir kısmından da erkek arı yetiştirilerek bunlar birbirleriyle rastgele çiftleştirilirler. Dışarıdan sürüye farklı genetik materyal sokulmaz. Bu anlamıyla sürü dışarıdan gelecek gen akışına kapatılmış bir populasyon haline dönüşür. Buradaki amaç bir yandan genetik varyasyon korunurken diğer yandan da genetik yapı iyileştirilir. Bu amaçla 20 generasyon boyunca herhangi bir olumsuzluğun yaşanmaması

için ve yavru yaşama gücünün %85'in üzerinde tutulması için 50 adet ana arının selekte edilmesi yeterli olmaktadır. Tabiki bu koloniler ne kadar fazla sayıda koloni içerisinden seçilirlerse fenotipik veya seleksiyon üstünlüğü o kadar yüksek olacaktır. Sürüyü oluşturan kolonilerin tümü her üretim sezonunda yeniden değerlendirme testine tabi tutulur. Kapalı populasyon yetiştiriciliğinin sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Diğer hibrit üretim yöntemlerinin aksine program süresince koloni performansını sürekli geliştirmek mümkündür.
- Seleksiyon yöntemlerinin daha kolay uygulanmasına imkân sağlar.
- Populasyonun yavru yaşama gücünde azalma meydana gelmez.
- Genetik varyasyon korunur.

Ancak kapalı populasyon ıslahında kalıtım derecesi ve damızlık değer gibi ıslah parametrelerinin önemli bir kısmını hesaplamak güçtür. Genelde seleksiyon üstünlüğü ve meydana gelebilecek genotipik ilerleme tahmin edilebilir. Bunun sebebi kapalı populasyon ıslahında pedigrili yetiştiriciliğin olmamasıdır. Dolayısı ile bireylerin akrabalık dereceleri veya akrabalı yetiştirme katsayıları bilinmemektedir.

5.4.1. Kapalı Populasyon İslahında Bazı Çiftleştirme Yöntemleri

Kapalı populasyon ıslahında çiftleştirmenin planlanması ve ana ve erkek arı seçimi üreme etkinliği açısından genetik varyasyonu ve cinsiyet allellerinin yapısını önemli oranda etkiler. Bu olumsuzlukların önlenmesi amacıyla üç aşamada gerçekleştirilen bir program uygulanır. Bu programların her birinde yetiştirilen (ıslah edilen) ana ve erkek arıların anaları aynıdır. Yani analar hem anaların hem de babaların anaları konumundadır.

1. Birinci aşamada populasyonu oluşturan tüm ana arılardan larva transferi ile ana arı yetiştirilir. Yetiştirilen bu ana arıların her biri, pedigrileri dikkate alınmadan populasyondan tesadüfi seçilmiş onar adet erkek arıdan alınan spermle yapay tohumlamaları yapılır. Böylece populasyon, ebeveynleri dikkate alınmadan ıslah programındaki tüm ana arılardan yetiştirilen ve tesadüfi seçilmiş kızlardan oluşacaktır. Bu ana arılar bu aşamadan itibaren döl kontrol yöntemiyle performans testine tabi tutulurlar. Bu amaçla her generasyonu oluşturacak ana arılar kendi kızkardeşleri içerisinden tesadüfi olarak seçilirler. Buradaki tesadüfi seçim, cinsiyet lokuslarındaki genetik varyasyonu muhafaza etmek amacıyla uygulanır. Bu düzeydeki bir populasyonda yavru yaşama gücü 20 generasyon boyunca % 95 düzeyinde muhafaza edilir ve oran % 85'in altına düşürülmez. Yüksek düzeyde (%95 gibi) yavru yaşama gücü için her generasyonda en az 50 koloni bulundurulur.

2. İkinci aşamada aynı yöntemle yetiştirilmek üzere her ana arı, arılıkta bir kızı tarafından temsil edilir. Bu generasyonu oluşturacak ana arılar, bir önceki generasyondaki kolonilerin performans testleri değerlendirilerek selekte edilirler. Ancak burada her bir ana arı kendi kızkardeşleri içerisinden tesadüfi olarak seçilir. Çalışılan karakter yönünden uygun görülen koloniler seçildikten sonra diğerleri populasyondan (arılıktan) uzaklaştırılır. Bu aşamada denemede yaklaşık olarak 35 kadar ıslah materyali koloni kalır. Burada da yavru yaşama gücü % 95 düzeyinde olmalı ve % 85'in altına düşmemelidir. Bu yöntemin her aşamasında gelecek generasyonu oluşturacak ana arıların seleksiyonu, başlangıç populasyonunu oluşturan ana arıların, onların kızlarının ve kız kardeşlerinin performanslarının değerlendirilmesi esasına göre yapılır.

3. Populasyondaki erkek arıların tümünden semen toplanır ve eşit miktarda olacak şekilde karıştırılarak homojen hale getirilir. Bütün ıslah kolonileri ana arılarından yetiştirilen her bir kız ana arı bu semen ile döllenir. Bu metot sayesinde;

- Akrabalı yetiştirilmiş populasyonun ana arılarının yavru yaşama güçleri yükselir.
- Bütün ana arılar gen havuzundan eşit oranda yararlanır ve aynı oranda katkıda bulunurlar.
- Ana arılar kendi genetik kapasiteleri düzeyinde seçilme şansına sahip olurlar.
- Yavru yaşama gücünün yükselmesi ile cinsiyet allellerindeki varyasyon kaybı engellenir.

Gelecekteki her generasyonu oluşturacak olan ana arıların seleksiyonuna aynı yöntemle devam edilir. Semen bu şekilde karıştırılarak tüm ana arıların döllenmelerinde kullanımı sayesinde cinsiyet lokuslarındaki heterozigotluk düzeyi çok uzun süre muhafaza edilir.

Ancak burada göz ardı edilmemesi gereken önemli bir husus var o da populasyonda genetik yapı farklılığı sebebiyle kolonilerin erkek arı yetiştirme dönem veya süreleri arasındaki farklılıktır. Bazı koloniler daha erken bazıları ise daha geç erkek arı yetiştirirler. Erken erkek yetiştiren kolonilerin erkek arıları kullanıldığından populasyonda genetik varyasyon azalır ve bu istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Aynı ırkı temsil eden böyle bir kapalı populasyonda daha sonraki generasyonlarda üstün performans ortaya koyan ana arı/arıların populasyon içerisinde genetik yapısına daha fazla yer verilir. Buna benzer yine üstün fenotip gösteren bir başka koloni de baba olarak kullanılır. Ayrıca, böyle bir kapalı populasyon içinde soylar oluşturularak, akraba hatlar arası melezlemede olduğu gibi, bu soylar birbirleriyle melezlenerek daha üstün genotipli ana arıların üretimi de mümkündür.

6. Irk Muhafazası İçin Gerekli Populasyon Büyüklüğü

Ana arı, göçer arıcılık ve koloni satışları sebebiyle saf ırkların muhafazasında yaşanan olumsuzluklar genetik kaynakların korunmasını daha önemli hale getirmiştir. Bu amaçla Avrupa Birliği bir ırkın muhafazası ve saflığını koruması amacıyla bazı Standard ve kriterler geliştirmiştir. Örneğin bir ırkın tehlikede olduğuna ilişkin düzeyi belirlemek üzere o ırkın etkili populasyon büyüklüğünü (N_e) esas almaktadır. Bu kavram bal arılarının haplo diploid kromozoma sahip olmaları sebebiyle diğer evcil hayvan genetik kaynaklarına göre daha büyük önem taşımaktadır. Büyüklük akrabalı yetiştirmede her generasyondaki artış miktarını gösterir. Özellikle son 30-40 yıllık süreçte ıslah amaçlı seleksiyonun tümüyle daha küçük populasyonlar üzerinde yürütülmesi sonucu ırkların kendi içerisinde genetik varyasyon önemli sorun olacak halde daralmıştır. Bu akrabalı yetiştirmede artışı ya da heterozigotluktaki azalışı (ΔF), her generasyonda gen frekansında tesadüfî genetik sürüklenme nedeniyle genlerin kaybını ifade eder. Örneğin Ruttner (1988)'e göre 50 yılda toplam akrabalı yetiştirme artışı %50'den daha küçük ise o ırk tehlikede sayılmamaktadır. Memeli için bir generasyonda akrabalı yetiştirme artışı $1/2N_e$ kadardır. Bu değerin %40'dan büyük olması populasyonun tehlike sınırını gösterir. Rinderer (1988) N_e değerini $[4 \times m \times f]/(m+f)$ eşitliğiyle belirlemeye çalışmıştır. Burada;

m: yararlanılan toplam erkek (baba) sayısı (yapay tohumlamada)

f: yararlanılan toplam dişi (ana) sayısını göstermektedir.

Ayrıca, dişi sayısı içinde $NFN = [(nf) \times (pb) \times (tf) \times (nh)]$ eşitliği kullanılmaktadır. Buradaki terimlerin her birisi ise;

nf = yetiştirilen dişi sayısı

t_f = dişi sayısının değişim eğilimidir. Bu değer dişi sayısı azalıyor ise $t_f = 0.77$, artıyor ise $t_f = 1$ olarak kabul edilir.

n_h = sürü sayısıdır. Sürü sayısı 10'dan az ise $n_h = 0.3$ değilse 1 olarak kabul edilir.

P_b = saf ırk yetiştirmeye ayrılan dişi %'dir. Bu yüzde değer memeli için 10'dan az ve dişi sayısı 500'den az ise kritik tehlike sınırına girmektedir.

Avrupa Birliği bütün bu tanımlamaları saf ırklar için geliştirmiş ve kabul etmektedir. Ne'yi etkileyen en önemli ölçüt erkek (baba) sayısıdır. 500 dişi ve 100 erkek için etkili populasyon büyüklüğü (N_e) = $4 \cdot (100) \cdot (500) / 600 = 333$ ve $\Delta F = \frac{1}{2} (333) = 0.0015$ 'dir. Kısacası N_e değeri %0.15 olmaktadır. Bu değer 50 yılda % 7.5 olmaktadır.

Sonuçta esas olan etkin populasyon büyüklüğü (N_e)'dür. Etkin populasyon büyüklüğü gelecek generasyonu oluşturmaya katkıda bulunan birey sayısını ifade etmektedir. Bu sayı arttıkça akrabalı yetiştirme katsayısındaki artış düşer. Nitekim Düzgüneş ve ark. (1991) memeli için akrabalı yetiştiriciliğe dayalı populasyonda meydana gelen homozigotluğu akrabalı yetiştirme katsayısı (F_i) üzerinden değerlendirmiş ve buna ilişkin parametreyi $F_i = 1/8A + 1/8B$ veya $(A+B)/8AB$ eşitliği ile açıklamışlardır. Bireyde homozigotlaşan lokusların toplam lokuslara oranını ifade eden bu eşitlikte de görüldüğü gibi meydana gelen homozigotluğun düzeyinin ıslahta yararlanılan ana (A) ve baba (B) sayısına bağlı değişim gösterdiğini vurgulamışlardır. Bireyde homozigotlaşan bu lokusların nispi miktarını açıklayan akrabalı yetiştirme katsayısı (F_i) bireyin ana ve babasının akrabalık derecesinin ikiye bölümüyle hesaplanır. Yani $F_i = r^G A(\text{♀})B(\text{♂})/2$ eşitliği ile belirlenir.

Bu anlamıyla bir generasyonda akrabalı yetiştirme katsayısı en fazla %1 artış göstermelidir. Populasyondaki akrabalı yetiştirme katsayısı o populasyonu oluşturan bireylerin akrabalı yetiştirme katsayıları ortalaması kadardır. Daha öncede açıklandığı gibi populasyonda belirli bir lokus bakımından homozigot bireylerin oranını ya da homozigotlaşan lokusların populasyondaki tüm lokuslara oranını ifade eder. Bu terim birey için söz konusu olduğundan bireyde homozigotlaşan lokusların toplam lokuslara oranına tekabül eder. İdeal koşullarda ΔF değerini bir generasyonda %1 düzeyinde tutmak için en az 25 erkek 25 dişi gerekmektedir. Ancak ırkın tehlikede olma kriteri esas alındığında bu sayılar yetersiz kalmaktadır. Memelide bu amaçla en uygun sayı 500 dişi, 50 erkek kabul edilmektedir. Bal arılarında genelde seleksiyonda seçilecek kolonilerin populasyonu temsil eden toplam kolonilerin %25-30'undan aşağı düşmemesine dikkat edilmektedir.