

Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağı ıslah zonunda (401-800 m) kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) döl denemeleri (20. yaş sonuçları)

Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) progeny trials in middle elevation breeding zone (401-800 m) of Mediterranean Region (Results of 20th age)

Abdullah Kaplan¹

Mehmet Acet¹

Oğuz Şerif Urhan¹

Turgay Ezen¹

Mehmet Çalikoğlu²

Alper Ahmet Özbey²

Ali Topal³

Orhan Demir¹

Mehmet Doğan⁴

Murat Alan⁵

Hikmet Öztürk⁶

Sadi Şıklar⁶

¹ Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

² Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

³ Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

⁴ Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü

⁵ Karabük Üniversitesi

⁶ Emekli

Sorumlu yazar (Corresponding author)

Abdullah Kaplan

abdullahkaplan@ogm.gov.tr

Geliş tarihi (Received)

25.02.2026

Kabul Tarihi (Accepted)

03.06.2026

Sorumlu editör (Corresponding editor)

Fatma Feyzioğlu

fatmafeyzioğlu@ogm.gov.tr

Atıf (To cite this article): Kaplan, A., Acet, M., Urhan, O. Ş., Ezen, T., Çalikoğlu, M., Özbey, A. A., Topal, A., Demir, O., Doğan, M., Alan, M., Öztürk, H., & Şıklar, S. (t.y.). Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağı ıslah zonunda (401-800 m) kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) döl denemeleri (20. yaş sonuçları). Ormanlık Araştırma Dergisi 13(2):15-29 DOI: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1896959>



Creative Commons Atıf -
Türetilemez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

Öz

Döl denemeleri, ıslah popülasyonunda yer alan ebeveyn veya döllerin ıslah değerini ve ıslah popülasyonun genetik parametrelerinin tahmini için ıslah çalışmalarında kullanılan genetik testlerdir. Türkiye’de kızılçam ıslah çalışmalarında bu gayeyle çeşitli ıslah zonlarında döl denemeleri kurulmuştur. Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağı (401-800 m) kızılçam ıslah zonunda bulunan 13 adet tohum meşceresi ve 3 adet gen koruma ormanından toplam 270 adet plus ağaçtan (1. seri) ve 4 adet klonal tohum bahçesinde yer alan 75 klondan (2. seri) toplanan tohumlarla iki ayrı seri halinde açık tozlaşma döl denemeleri kurulmuştur. Deneme alanlarında 20. yaşta gözlemlenen göğüs yüksekliği çapı karakterine ilişkin genetik parametreler ve BLUP yöntemi ile ailelerin ıslah değerleri ve genetik kazançlar tahmin edilmiştir. Birinci seri denemelerin ortak analizinde göğüs yüksekliği çapı için bireysel kalıtım derecesi $0,22\pm0,03$; aile ortalamalarının kalıtım derecesi ise $0,52\pm0,02$ tahmin edilmiştir. İkinci seri denemelerdeki kalıtım derecelerinin tahmini aynı sırayla $0,23\pm0,06$ ve $0,46\pm0,04$ olmuştur. Göğüs yüksekliği çapında ıslah değeri en yüksek 30 ağaç seçildiğinde birinci seride $\sim 11\%$; ikinci seride ise $\sim 3\%$ genetik kazanç tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalıtım derecesi, ıslah değeri, genetik kazanç, genotip-çevre etkileşimi

Abstract

Progeny tests are genetic tests established to determine the genetic value of a selected individual for a specific character according to the performance of the offspring and to determine the genetic value of the offspring. Progeny trials have been established in various breeding zones for this purpose. Open-pollinated progeny trials were established in two series with seeds collected from 270 plus trees (from 13 seed stands and 3 gene conservation forests) and 75 clones (from 4 clonal seed orchards) in the Turkish red pine Mediterranean middle elevation (401-800 m) breeding zone. Genetic parameters related to the diameter at breast height (DBH) observed at age 20 in the experimental areas were estimated, and breeding values of the families were calculated with the BLUP method. Individual heritability was calculated as 0.22 ± 0.03 , and family mean heritability was calculated as 0.52 ± 0.02 in the first series. In the second series of trials, the individual heritability for the same character was calculated as 0.23 ± 0.06 and the family mean heritability was calculated as 0.46 ± 0.04 . With the selection of the 30 trees which have the highest breeding value for DBH, the gain was calculated at $\sim 11\%$ and $\sim 3\%$ in the first and second series of trials, respectively.

Keywords: Heritability, breeding value, genetic gain, genotype x environment interaction

1. Giriş

Günümüzde artan nüfus ile beraber odun hammaddesi talebi her geçen gün artmakta ve talebin karşılanması için farklı arayışlar bulunmaktadır. Odun hammaddesine olan talebi karşılamada birim alandan elde edilen ürünün miktar ve kalitesinin artırılmasında ağaç ıslahının kullanımı giderek artmaktadır (Ruotsalainen, 2014). Islah edilmiş materyalin uygun yetiştirme ortamlarında kullanımı içeren endüstriyel ağaçlandırmalar Türkiye'nin ormancılığının gündemindedir (OGM, 2013; Erkan, 2021).

Türkiye ormanlarının, yaklaşık 13,7 milyon hektarı (%59) normal kapalı ve 9,7 milyon hektarı (%41) ise boşluklu kapalıdır (OGM, 2023). Boşluklu kapalı ormanların ekonomik, ekolojik ve sosyal fonksiyonları (hizmetleri) yerine getirebilmesi için iyileştirilmesi gerekmektedir. Türkiye orman alanlarındaki toplam yıllık artım 1973 yılında 28 milyon m³ iken, 2023 yılında 50,1 milyon m³'e ulaşmıştır (OGM, 2023). Bu artış, koru ormanlarının toplam orman alanlarındaki payının artması, ağaçlandırma çalışmaları ile yeni orman alanlarının oluşturulması ve ormanlardaki bakım çalışmalarının daha etkin hale getirilmesi ile açıklanmaktadır (OGM, 2023). Boydak ve Çalışkan (2014) ise Türkiye'de verimsiz orman alanlarının ağaçlandırma çalışmaları ile verimli hale getirilmesi ve uygun alanlarda hızlı gelişen türlerle endüstriyel ağaçlandırmaların gerçekleştirilmesi ile ormanlardaki artımın daha da arttırılabileceğini ve yıllık etanın çok daha yüksek seviyelere taşınabileceğini vurgulamışlardır.

En geniş yayılışa sahip iğne yapraklı türümüz olan kızılçam (*P. brutia*), ~5,3 milyon ha yayılışı ile ülkemiz ormancılığında önemli bir yere sahiptir (OGM, 2023). Coşgun ve ark. (2008), Türkiye'de yapılan yaklaşık 1,8 milyon ha ağaçlandırmanın yaklaşık 707 bin ha (%39) kısmının kızılçama ait olduğunu belirtmişlerdir. Arslan ve ark (2025) ise kızılçamanın ağaçlandırmada kullanım oranını %40-%50 olarak vurgulamışlardır. Odun üretimi amacıyla yapılan ve özellikle endüstriyel ağaçlandırmalarda ana amaç birim alanda verimin artırılmasıdır. Bu çerçevede en çok miktarda ağaçlandırmaların ve özellikle endüstriyel ağaçlandırmaların yapıldığı kızılçamda ıslah edilmiş tohumların kullanımı önem kazanmaktadır.

Orman Genel Müdürlüğü'nün (OGM; ogm.gov.tr) "Endüstriyel Ağaçlandırma Çalışmaları Eylem Planında (2013-2023)" endüstriyel ağaçlandırma çalışmalarının dört bileşeninden biri ağaç ıslahı çalışmaları ile elde edilen ıslah edilmiş tohumların kullanılmasıdır (OGM, 2013). Ağaç ıslahı çalışmaları, kantite (çap, boy ve hacim) yönünden

ekonominin isteklerini karşılamakla birlikte, kalite (gövde düzgünlüğü, dayanıklılık, vb.) yönünden de uygun bireyleri yetiştirmeyi amaçlar (Tunçtaner, 2007). Bu açıdan ağaç ıslahı çalışmaları, dünya genelinde son 60 yılda önem kazanmış ve ormancılık açısından gelişmiş ülkeler (ABD, Yeni Zelanda, Kanada, vb.) genellikle işletilmesi zor, pahalı, verimi düşük ve hassas ekosistemler olan doğal ormanları koruma altına almışlar ve odun ürünlerine olan ihtiyaçlarını ağaçlandırmalardan karşılama yoluna gitmişlerdir. Bu husus da ülkelerin ağaç ıslahına yönelik çalışmalarını hızlandırmıştır (Gezer ve Yücedağ, 2006; White ve ark., 2007).

Ülkemizde ıslah çalışmaları 1960'lı yılların başında tohum meşcerelerinin seçimi ile başlamıştır (Şıklar ve ark., 2017). Tohum meşcereleri o yıllarda yapılan ağaçlandırmalar için tohum kaynağı olarak kullanılmış, tohum verimi ve kazancın artırılması hedeflenmiştir. Tohum meşcerelerinden sonra fenotipik seleksiyonun ikinci aşaması olan tohum bahçelerinin kuruluşuna geçilmiştir. Tohum bahçesinin tesisi için meşcereler içerisinde en iyi fenotipik özelliklere sahip plus (üstün) ağaçlar seçilmiş, vejetatif yolla çoğaltılmış ve özel bir desenle tohum bahçelerine aktarılmıştır. Tüm bu çalışmalar yapılırken, bu meşcerelerden üretilen tohumların herhangi bir adaptasyon sorunu yaşamadan transfer edilebileceği alanların belirlendiği tohum hasat ve transfer zonları oluşturulmuştur (Atalay, 1977). Tohum transferleri 1993 yılına kadar bu zonlara göre yapılmış ve böylece ağaçlandırmalarda yüksek başarı sağlanmıştır (Şıklar ve ark., 2015).

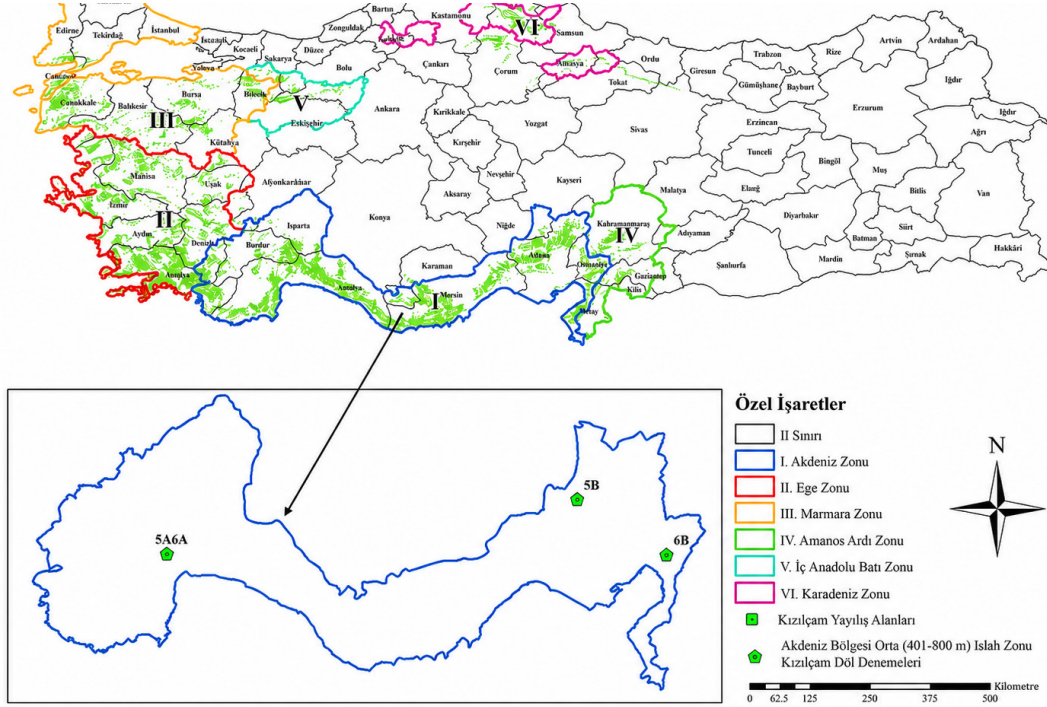
Sonra 1993 yılında hazırlanan "Milli Ağaç Islahı ve Tohum Üretim Programı (MAITÜP)" ile ıslah çalışmalarına ayrı bir yön verilmiştir. Bu programa göre Türkiye ormancılığı için beş önemli ağaç türü (kızılçam, karaçam (*Pinus nigra*), sarıçam (*Pinus sylvestris*), Toros sediri (*Cedrus libani*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis*) üzerinde durulmuştur (Koski ve Antola, 1993). Türkiye orman ağacı ıslah çalışmaları için önemli bir dönüm noktası olan MAITÜP ile ağaç ıslahı çalışmalarında genetik testlerden biri olan açık tozlaşma döl denemelerinin kurulması öngörülmüştür.

Açık tozlaşma döl denemeleri hem meşcerelerden seçilen plus ağaçlardan hem de plus ağaçların tohum bahçelerinde bulunan kopyalarından toplanan tohumlardan yetiştirilen yarım/üvey kardeş fidanlarla; türün yayılış alanındaki coğrafik varyasyonlardan yararlanılarak oluşturulmuş ıslah zonları içerisindeki farklı lokasyonlarda araştırma deneme desenleri kullanılarak kurulan denemelerdir.

MAITÜP'te üzerinde durulan türler için, türlerin yayılış alanındaki coğrafik varyasyonlardan yarar-

lanılarak bölgeler ve yükselti basamaklarına göre ıslah zonları oluşturulmuştur (Koski ve Antola, 1993). Kızılcama ait ıslah zonları Şekil 1’de gösterilmiştir. MAITÜP’ün uygulanmasında yetişmiş insan gücü, mali imkanlar, türün hızlı gelişmesi, ağaçlandırma alanlarının fazlalığı ve yayılış alanının genişliği göz önüne alınarak öncelik kızılcama

verilmiştir. Bu kapsamda 61 gen koruma ormanı, 72 tohum meşçeresi ve 3.069 plus ağaç seçilerek 41 döl denemesi ve 85 tohum bahçesi (fenotipik ve genotipik) kurulmuştur (OATIAEM, 2025). 26 farklı deneme alanına kurulmuş kızılcama orijin denemeleri çalışması ise 2020 yılında sonuçlandırılmıştır (Çalıkoğlu ve ark., 2022)



Şekil 1. Kızılcama ıslah zonları ve Akdeniz Bölgesi orta ıslah zonu döl denemeleri
Figure 1. Breeding zones and progeny trials in middle elevation breeding zone (401-800 m) of Mediterranean Region of *Pinus brutia*

MAITÜP’te kızılcama ıslah zonları içerisinde yedi farklı ıslah zonunda yarım kardeş (half-sib) döl denemesinin kurulması planlanmıştır. Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağı (401-800 m) kızılcama ıslah zonunda 2001 yılında dört adet açık tozlaşma döl denemesi kurulmuş (Şekil 1) bu denemelerin 4., 8. ve 12. yaş değerlendirmelerinin sonuçları yayımlanmıştır (Öztürk ve ark., 2006; Öztürk ve ark., 2010; Alan ve ark., 2013). Çalışmamızda, aynı denemelerin 2021 yılında (20. yaş) ölçülen göğüs yüksekliği çapı ($d_{1,30}$) karakterinde, 1) bazı genetik parametrelerin (kalıtım derecesi, genotip $\times$ çevre etkileşiminin önem derecesi) tahmin edilmesi, 2) ıslah değerlerinin tahmin edilmesi, 3) deneme alanlarında önceki yaşlarda ölçülen karakterler ile ilişkinin ortaya konması ve (4) genetik kazancın tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Genetik materyal

Döl denemelerinde kullanılan ağaçlar, açık toz-

laşma ürünü bireylerden oluşmakta olup bu çalışmalar açık tozlaşma döl denemeleri kapsamında değerlendirilmektedir. İki seri halinde kurulan bu denemelerin birinci serisi, Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağındaki kızılcama ıslah zonunda yer alan meşçerelerden seçilen plus ağaçlardan; ikinci serisi ise aynı ıslah zonunda bulunan tohum bahçelerindeki klonlardan oluşturulmuştur. Birinci seride, 16 farklı popülasyondan seçilen toplam 270 plus ağaca ait tohumlardan elde edilen fidanlar (Tablo 1); ikinci seride ise dört farklı klonal tohum bahçesinde bulunan 75 klondan toplanan tohumlardan yetiştirilen fidanlar kullanılmıştır (Tablo 2).

Seçilen plus ağaçların ve tohum bahçelerindeki klonların her birinden 1998 ve 1999 yıllarında kotalak toplanmış ve 2000 yılının nisan ayının ilk haftasında Muğla Gökova Fidanlığı’ndaki ENSO tipi fidan tepsilerine ekilmiştir. Ekim yapılan her bir tepsie ailenin numarası yazılmış, ayrıca aile numaralarını belirten etiketler konulmuştur. Fidanlara sulama suyu ile birlikte gelişim evrelerine

göre değişen dozlarda NPK içeren gübre verilmiştir. Ekimlerde tohumun boş olması ya da çimlenmemesi olasılığı düşünülerek her bir tüpe yaklaşık 2-3 adet tohum ekilmiş ve birden fazla tohumun çimlendiği tüplerde ise her tüpte bir fidan kalacak şekilde tekleme yapılmıştır.

TDöl denemelerinde bulunan ailelere ek olarak, her iki seri denemelere ayrı bir işlem birimi olarak ve ağaçlandırmalarda kullanılan altı tohum meşceresinden elde edilen kontrol materyali (standart materyal) de bulunmaktadır (Tablo 3). Kontrol materyallerinden Serik-Pınargözü (TM-11) ve Anamur-Kükür (TM-25) bu çalışmanın konusu olan ıslah zonundaki tohum meşcereleridir. Bütün kontrol materyaline ait bilgiler ise Tablo 3'te verilmiştir.

2.2. Deneme alanları

Dikim öncesi tüm deneme alanlarında tam alan toprak işlenmesi yapılmıştır. Deneme alanları rast-

lantı blokları deneme desenine uygun olarak 2001 yılında kurulmuştur. Parsel düzenlemesi dört ağaçlı sıra parseli olup kullanılan aralık mesafe 3×2 olmuştur. Deneme alanları yaklaşık %1 eğimli olan sahalarda kurulmuştur (Tablo 4).

Ormancılık denemelerinde genellikle rastlantı blokları deneme deseni kullanılmakta ve kurulan denemelerde blok büyüklükleri, aile sayısına ve her bir parseldeki birey sayısına bağlı olarak büyük olabilmektedir. Bu durumda çevresel varyansın daha iyi kontrol edilebilmesi ve dolayısıyla genetik parametrelerin ve ıslah değerlerinin daha isabetli tahmin edilebilmesi için bloklarda Schutz ve Cockerham (1966) tarafından önerilen ve B (*set in rep.*) deseni olarak adlandırılan alt bloklama yapılmıştır. Bu düzenleme ile deneme alanları belirli ailelerden oluşan sabit setlere bölünmüş ve kontrol materyalinin tamamı her sete dahil edilmiştir. Birinci seri denemelerin her blokunda 54 aile ile 6 kontrol ma-

Tablo 1. Birinci seri denemeler için plus ağaçların seçildiği meşcerelere ilişkin bilgiler
Table 1. Information on the stands from which plus trees for first series were selected

Ulusal kayıt No	Orman İşletme Müdürlüğü	Orman İşletme Şefliği	Enlem	Boylam	Rakım	PA Sayısı
TM-1	Pos	Yetimli	37° 35' K	35° 21' D	735	10
TM-2	Pos	Karsantı	37° 34' K	35° 24' D	735	25
TM-3	Pos	Karsantı	37° 32' K	35° 23' D	745	21
TM-4	Bucak	Pamucak	37° 24' K	30° 37' D	800	15
TM-5	Bucak	Taşyayla	37° 30' K	30° 41' D	800	20
TM-7	Alanya	Bayır	36° 45' K	31° 58' D	650	16
TM-11	Serik	Pınargözü	37° 16' K	30° 59' D	500	23
TM-20	Sütçüler	Karadağ	37° 30' K	30° 52' D	650	12
TM-26	Gülnar	Pembecik	36° 14' K	33° 15' D	650	19
TM-30	Mersin	Kuzucubelen	36° 55' K	34° 26' D	750	14
TM-40	Çameli	Göldağ	37° 06' K	29° 07' D	800	26
TM-56	Çameli	Boyalı	37° 05' K	29° 05' D	700	7
TM-356	Serik	Ören	37° 17' K	30° 58' D	750	21
GKO-6	Anamur	Kükür	36° 10' K	32° 45' D	750	10
GKO-48	Tarsus	Buladan	37° 06' K	34° 31' D	900	20
GKO-92	Bucak	Pamucak	37° 22' K	30° 43' D	700	11
Toplam						270

TM: Tohum meşceresi, GKO: Gen koruma ormanı, PA: Plus ağaç

Tablo 2. İkinci seri denemeler için kozalak toplanan tohum bahçelerine ilişkin bilgiler
Table 2. Information on the seed orchards where cones were collected for the second series

Ulusal Kayıt No	Orijini	Tesis yeri	Tesis yılı	Klon sayısı	Ramet sayısı	Alanı (ha)	Dikim aralığı (m)
TB-10	Antakya-Yayladağ (TM-24)	Kadirli	1981	16	400	3,2	9×9
TB-21	Seydikemer-Yapraktepe (GKO-46)	Fethiye	1985	21	1601	10,2	8×8
TB-22	Fethiye- Üzümlü (TTS-2444)	Fethiye	1985	10	251	1,6	8×8
TB-27	Çameli- Göldağ (TM-40)	Antalya	1986	28	1743	11,2	8×8
Toplam				75			

B: Tohum bahçesi TM: Tohum meşceresi, GKO: Gen koruma Ormanı, TTS: Tohum toplama sahası

Tablo 3. Kontrol materyali olarak kullanılan tohum meşcerelerine ait bilgiler
Table 3. Information on seed stands used as check lots

Kontrol Materyali No	1	2	3	4	5	6
İslah Zonu	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	6.1
Tohum Meşceresi No	32	11	31	37	25	349
İşletme Müdürlüğü	Silifke	Serik	Mersin	Alanya	Anamur	Bafra
Şeflik	Yeşilovacık (Akdere)	Pınargözü	Fındıkpınarı	Kargı	Kükür (Gökçesu)	Çamgözü (Alaçam)
Rakım (m)	100	500	825	350	500	100
Enlem	36° 13' K	37° 16' K	36° 56' K	36° 36' K	36° 11' K	41° 38' K
Boylam	33° 42' D	30° 59' D	34° 26' D	31° 57' D	32° 45' D	35° 26' D

Tablo 4. Deneme alanlarının* özellikleri
Table 4. Properties of the test sites

Deneme Alanı	Orman İşletme Müdürlüğü	Orman İşletme Şefliği	Dikim tarihi	Blok (adet)	Arazi tipi	Enlem	Boylam	Rakım
5A, 6A	Korkuteli	Maarif	9-13/02/2001	7	Orman alanı	37°03' K	30°28' D	600
5B	Pos	Kıcak	9-13/02/2001	7	Orman alanı	37°22' K	35°14' D	900
6B	Osmaniye	Karacalar	9-13/02/2001	6	Fidanlık arazisi	37°01' K	36°15' D	690

*5A ve 5B birinci; 6A ve 6B ise ikinci seri deneme alanlarıdır/ 5A and 5B are the first; 6A and 6B are the second series test sites

teryalinden oluşan beş set, İkinci seri denemelerde ise her blokta 37 aile ve 6 kontrol materyalinden oluşan iki set oluşturulmuştur. Denemelerin her iki serisinde 2014-2015 yıllarında (yani 13. ve 14. yaşta) sistematik aralama yapılmış ve parseldeki birey sayıları ikiye inmiştir.

2.3. İstatistik analizler

İstatistik analizlere başlamadan önce sıra dışı veriler önceki yaşlarda yapılan ölçüm değerleri de dikkate alınarak ön analiz yapılarak sıra dışı olanlar çıkarılmıştır. Sıra dışı veriler ya bireylerin biyotik ve abiyotik etkilerden zarar görmesinden, ya da ölçme ve kayıt sırasındaki yanlışlardan kaynaklanabilmektedir. Sıra dışı verileri ayıklamada JMP (SAS Institute) yazılımının Explore Outliers fonksiyonu kullanılmıştır.

SAS'ın PROC MIXED (SAS, 1989) seçeneği kullanılarak Varyans analizi yapılmış ve F testi ile öncelikle ailelerin farklı olup olmadığına bakılmıştır. Farklılık olması durumunda, genetik parametreler ve ıslah değerleri tahmin edilmiştir.

Varyans analizlerinde model çalışması yapılmış, bağımlı değişkeni en uygun şekilde açıklayacak bağımsız değişkenler belirlenmiş ve anlamsız değişkenler ise modelden çıkarılmıştır (Kayaalp ve ark., 2015). Buna göre, setler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmadığından deneme alanlarının tek tek analizlerinde 1 numaralı model kullanılmıştır.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + FB_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

Modelde;

Y_{ijk} : i. blokta j. ailenin k. bireyi üzerindeki gözlem değeri, μ : Genel ortalama, B_i : i. bloğun etkisi, $i=1, 2, \dots, 7$, F_j : j. ailenin etkisi, $j=1, 2, \dots, 270/75$, FB_{ij} : Blok- aile etkileşimi, e_{ijk} : Deneyisel hatadır.

Deneme alanlarının ortak analizlerinde ise yine setler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı için 2 numaralı model kullanılmıştır.

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B_{j(i)} + F_k + FS_{ik} + FB_{jk(i)} + e_{ijkl} \quad (2)$$

Modelde;

Y_{ijkl} : i. deneme alanı j. blokta k. ailenin l. ağacının gözlem değeri, μ : Genel ortalama, S_i : i. deneme alanının etkisi, $i=1, 2, \dots, B_{j(i)}$: i. deneme alanındaki j. bloğun etkisi, $j=1, 2, \dots, 7$, F_k : k. ailenin etkisi, $k=1, 2, \dots, 270/75$, FS_{ik} : Deneme alanı- aile etkileşimi, $FB_{jk(i)}$: Blok- aile etkileşimi, e_{ijkl} : Deneyisel hatadır.

Varyans bileşenlerini hesaplamada deneme alanı ve blok etkileri rastlantısal, diğer analizlerde ise sabit etki olarak alınmış ve diğer tüm faktörler rastlantısal etki olarak kabul edilmiştir. Varyans bileşenleri SAS Proc Mixed prosedürü REML seçeneği kullanılarak tahmin edilmiştir (Littell ve ark., 2006).

2.4. Genetik parametrelerin tahmini

Bireysel kalıtım derecesi 3 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$h_i^2 = \frac{\sigma_f^2}{k\sigma_p^2} \quad (3)$$

Eşitlikte;

$\sigma_p^2 = \sigma_f^2 + \sigma_{fs}^2 + \sigma_{fb}^2 + \sigma_e^2$: Fenotipik varyans (denemelerin tek tek analizlerinde σ_{fs}^2 eşitlikte yer almamaktadır), σ_f^2 : Aile varyansı, σ_{fs}^2 : Deneme alanı- aile etkileşiminin varyansı, σ_{fb}^2 : Blok- aile etkileşiminin varyansı, σ_e^2 : Hata varyansı, k : Döl ile ebeveyni arasındaki genetik kovaryanstır ve yarım kardeş ailelerde $\frac{1}{4}$ değerine eşittir (Squillace, 1974; Becker, 1992).

Aile ortalamalarının kalıtım derecesi (h_p^2) ise 4 numaralı eşitlikle hesaplanmıştır.

$$h_f^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_{pfam}^2} \quad (4)$$

Eşitlikte $\sigma_{pfam}^2 = \sigma_f^2 + \frac{\sigma_{fb}^2}{\frac{c_1}{c_2}} + \frac{\sigma_e^2}{c_1}$ olup aile ortalamaları fenotipik varyansdır. Burada c_1, c_2 ve c_3 katsayıları sırasıyla SAS Proc Mixed ile yapılan analizde TYPE III beklenen kareler ortalamasında, aile varyansı, blok- aile etkileşiminin varyansı ve deneme alanı- aile etkileşiminin katsayılarıdır.

Bir serideki denemelerin ortak analizinde ise σ_{pfam}^2 5 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$\sigma_{pfam}^2 = \sigma_f^2 + \frac{\sigma_{fs}^2}{\frac{c_1}{c_2}} + \frac{\sigma_{fb}^2}{\frac{c_2}{c_3}} + \frac{\sigma_e^2}{c_1} \quad (5)$$

Ailelerin farklı deneme alanlarında gösterdikleri performansları arasındaki genetik korelasyonlar (B tipi genetik korelasyonlar (r_{Bg})) 6 numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır (Burdon, 1977; Lynch ve Walsh, 1998). Eşitlikteki parametrelerin açıklamaları ise 3 nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$r_{Bg} = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{fs}^2} \quad (6)$$

Karakterler/denemeler arasındaki genetik korelasyonlar, genetik değerleri (genel kombinasyon yeteneği, BLUP) kullanarak ve 7 numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır (Burdon, 1977).

$$r_g = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_{fx}^2 \sigma_{fy}^2}} \quad (7)$$

σ_{xy}^2 : x ve y karakterleri / denemeleri arasındaki genetik kovaryans; σ_{fx}^2 ve σ_{fy}^2 : Sırasıyla x ve y karakterlerine ait genetik varyanslardır.

Islah değerlerinin tahmini ve genetik kazancın hesaplanması

Islah değerlerinin tahmininde 8 numaralı model kullanılmış olup;

$$y = Xb + Zu + e \quad (8)$$

Modelde y : n adet gözlem değerlerini içeren vektörü, b : p boyutlu sabit etkiler vektörü, u : q boyutundaki bilinmeyen rastlantısal etkiler vektörü ve e : n boyutunda gözlemlenemeyen rastlantısal hata vektörleridir. X ve Z sırasıyla $n \times p$ ve $n \times q$ boyutlu ve tasarım matrisleridir.

Sabit ve rastlantısal etkiler 9 numaralı karma modelin çözümlemesi ile elde edilmiştir (Henderson, 1984).

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix} \quad (9)$$

G : Modeldeki her bir rastlantısal etkinin varyans kovaryanslarının blok diyagonal toplamalarını içeren matris, R : Hataya ilişkin varyans- kovaryans matrisidir.

Islah değerleri ve BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) analizleri, ASREML-R (4.0) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Butler ve ark., 2017). Tahmin edilen ıslah değeri (BV) aynı zamanda ölçülen karakterin birimi cinsinden genetik kazancın kendisidir (White ve Hodge, 1989). Islah programlarında gerçekleşen genetik kazanç, ıslah edilmiş materyal ıslah edilmemiş materyalle kıyaslanarak verilmektedir (Zobel ve Talbert, 1984; Dhakal ve ark., 1996; Matziris, 2000). Çalışmamızda da genetik kazanç zon içi kontrol materyaliyle kıyaslanarak hesaplanmıştır.

Genetik kazanç, iki popülasyonun ıslah değerlerinin ortalaması arasındaki sayısal fark olup ıslah çalışmalarının etkinliğini değerlendirmede kullanılan etkin bir yoldur (White ve ark., 2007). Ailelerin mutlak ıslah değerleri, genel ortalamaya ıslah değerleri eklenerek elde edilmiş, kazanç tahminleri ise mutlak ıslah değerleri kullanılarak ve kontrol materyali ile kıyaslanarak ve 10 numaralı eşitliğe göre bulunmuştur.

$$\Delta G_{PA} = \frac{ABV_{PA} - ABV_k}{ABV_k} \times 100 \quad (10)$$

$$\Delta G_{PA30} = \frac{ABV_{PA30} - ABV_k}{ABV_k} \times 100$$

Eşitlikte;

ΔG_{PA} : Plus ağaçlardan elde edilecek genetik kazancı, ABV_{PA} : Plus ağaçların ortalama mutlak ıslah

değerini, ABV_k ; Zon içi kontrol materyali için bulunan ortalama mutlak ıslah değerini, ΔG_{PA30} ; En iyi 30 plus ağaca ait genetik kazancı ve ABV_{PA30} ; En iyi 30 plus ağacın ıslah değerini ifade etmektedir.

3. Bulgular

3.1. Birinci seri denemeler için genetik parametreler

Birinci serideki değerlendirmelerde 20. yaş ortalama çapı 5A ve 5B deneme alanlarında sırasıyla 182,95 mm ve 169,59 mm olarak hesaplanmıştır. 5A deneme sahasında en yüksek ve en düşük aile ortalamalarının değerleri sırasıyla 211,5 mm ve 150,0 mm olurken 5B deneme sahasında bu değer-

ler 200,8 mm ve 135,5 mm'dir. Her iki deneme alanında hesaplanan değişkenlik katsayılarının (CV) değerleri ise birbirine yakın bulunmuştur. Birinci serideki her iki deneme alanında da çap karakteri için istatistik modelde bulunan blok ve aile değişkenleri anlamlı bulunmuştur ($<.0001$). Ancak blok- aile etkileşimi 5A deneme sahasında anlamlı olmasına rağmen 5B deneme sahasında anlamlı bulunmamıştır. Genetik varyasyon katsayısı (CV_{ga}) 5A deneme alanında %9,35 olurken 5B deneme alanında ise %8,09 olarak hesaplanmıştır. CV_{ga} değerlerine paralel olarak 5A deneme alanında hem bireysel kalıtımın derecesi hem de aile ortalamalarının kalıtım dereceleri daha yüksek bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. 5A ve 5B deneme sahalılarının ayrı ayrı ve birlikte analizinde çap karakteri için hesaplanan varyans bileşenleri ve bazı genetik parametreler

Table 5. Variance components and some genetic parameters for diameter in the analysis of 5A and 5B trial sites separately and pooled

Parametreler Çap (mm)	Denemelerin tek tek analizleri		Denemelerin birlikte analizi	
	5A	5B	5AB	
σ^2_f	65,86	42,31	σ^2_f	52,77
σ^2_b	39,39	7,34	σ^2_s	86,47
σ^2_{fb}	98,58	21,98	$\sigma^2_{b(s)}$	23,43
σ^2_e	898,88	777,02	σ^2_{fs}	2,37
σ^2_T	1102,7	848,65	$\sigma^2_{fb(s)}$	67,16
σ^2_a	263,44	169,24	σ^2_e	842,09
σ^2_{pi}	1063,31	841,31	σ^2_T	1074,28
CV_{ga}	%9,35	%8,09	σ^2_a	211,08 (
h^2_i	0,25±0,04	0,20±0,05	σ^2_{pi}	964,38
h^2_f	0,44±0,03	0,34±0,04	h^2_i	0,22±0,03
			h^2_f	0,52±0,02
			r_{gB}	0,95±0,04 / 0,40

σ^2_b : Blok varyansı, σ^2_f : Aile varyansı, σ^2_{fb} : Blok- aile etkileşimi varyansı, σ^2_e : Hata varyansı, σ^2_a : Eklemeli genetik varyans ($4\sigma^2_f$), σ^2_T : Toplam varyans, CV_{ga} : Genetik varyasyon katsayısı, σ^2_{pi} : Fenotipik varyans, σ^2_s : Deneme alanının varyansı, $\sigma^2_{b(s)}$: Deneme alanlarında blok varyansı, σ^2_{fs} : Aile deneme- alanı etkileşiminin varyansı, $\sigma^2_{fb(s)}$: Deneme alanlarındaki aile-blok etkileşiminin varyansı, h^2_i : Dar anlamlı bireysel kalıtımın derecesi, h^2_f : Aile ortalamalarının kalıtım derecesi, r_{gB} : B tipi genetik korelasyon (*Formül 6 ve ** Formül 7'ye göre hesaplanan)

Deneme alanlarının ayrı ayrı analizinde olduğu gibi bu deneme alanlarının ortak analizinde de parsel varyansı (σ^2_p) aile varyansına (σ^2_e) kıyasla yüksek çıkmıştır. Deneme alanı- aile etkileşiminin (σ^2_{fb}) istatistiksel yönden anlamlı olmadığı görülmektedir ($F=0,5974$). Buna paralel olarak, çap karakteri bakımından genotip- çevre etkileşimini gösteren ve varyans bileşenlerinden hesaplanan formüle göre deneme alanları arasındaki genetik korelasyon (r_{gB}) 0,95 olarak bulunmuştur. Genel kombinasyon değerleri (BLUP) üzerinden ve korelasyon formülü kullanılarak hesaplanan deneme alanları arasında genetik korelasyon (r_{gB}) ise 0,40 olarak bulunmuştur (Tablo 5).

Genetik ve fenotipik korelasyonlar Tablo 6'da verilmiştir. Yirminci yaş çap karakteri ile 4.,8.,12., ve 16. yaşlarda ölçülen karakterler arasında fenotipik

korelasyonlar istatistik açıdan anlamlı bulunmuştur. Yirminci yaş çap karakteri ile en yüksek (0,93) fenotipik ve genetik korelasyon 16. yaş çap karakteri arasında bulunmuştur Yirminci yaş ile en düşük fenotipik korelasyon (0,44) ve genetik korelasyon (0,45) 4. yaş boy karakteri arasında bulunmuştur. Genetik korelasyonlar 12. yaş çap ile kabul edilebilir (0,76) düzeyde olmakla birlikte 12. yaş boy, 16. ve 20. yaş çap karakterlerindeki fenotipik korelasyonlara kıyasla daha düşük bulunmuştur.

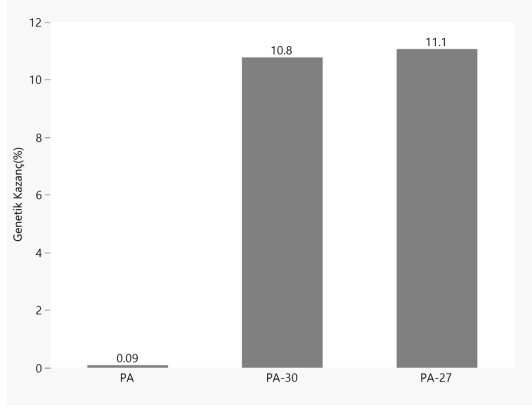
3.2. Birinci seri denemeler için genetik kazanç

Birinci seri denemelerin birlikte analizinde, genetik kazanç zon içi (Serik- Pınargözü ve Anamur- Kükür) kontrol materyaline göre kıyaslama ile tahmin edilmiştir. Buna göre üstün ağaçlardan (270 aile) kazanç sağlanamazken, ıslah değeri yüksek

Tablo 6. Birinci seri denemelerde karakterler arasındaki fenotipik (üst-sağ çapraz) ve genetik korelasyonlar (alt-sol çapraz)
Table 6. Phenotypic (upper diagonal) and genetic correlations (lower diagonal) among the traits

Karakter	Boy 4	Boy 8	Çap 8	Boy 12	Çap 12	Çap 16	Çap 20
Boy 4		0,70	0,72	0,50	0,61	0,52	0,44
Boy 8	0,72		0,92	0,90	0,82	0,72	0,64
Çap 8	0,81	0,89		0,82	0,81	0,71	0,63
Boy 12	0,48	0,76	0,66		0,89	0,81	0,74
Çap 12	0,65	0,85	0,86	0,73		0,91	0,82
Çap 16	0,50	0,69	0,69	0,55	0,84		0,93
Çap 20	0,45	0,59	0,62	0,53	0,76	0,93	

30 aileyle yeni bir tohum bahçesi kurulduğunda ise %10,80 kazancın sağlanabileceği tahmin edilmiştir (Şekil 2). Seleksiyon yoğunluğu %10 olarak alındığında, yani 270 aileden ıslah değeri en yüksek 27 aile kullanıldığında %11,10 kazancın sağlanacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 2. Birinci seri denemelerde zon içi kontrol materyaline göre genetik kazanç
Figure 2. Estimated genetic gain in the first series progeny trials compared to control material of the same zone

3.3. İkinci seri denemeler için genetik parametreler

Dört adet klonal tohum bahçesinde bulunan klonlardan toplanan açık tozlaşma ürünü tohumlarla tesis edilen ikinci seri denemelerde 6B deneme alanının ortalama çapı, 6A deneme alanından daha yüksek bulunmuştur. 6A deneme sahasında değişkenlik katsayısı %10 olarak hesap edilirken bu değer 6B deneme sahasında ise %19 olmuştur.

Varyans analizi sonuçlarına göre 20.yaş çap karakteri için blok, aile ve blok×aile etkileşimi her iki deneme alanında anlamlı bulunmuştur. Parsel varyansı birinci seri denemelere göre yüksek çıkmıştır. 6A deneme alanında parsel varyansı 6B deneme sahasına göre daha yüksek bulunmuştur (Tablo 7). Her iki deneme alanının ortak analizleri sonucu bireysel kalıtımın derecesi 0,23 ve aile ortalamalarının kalıtım derecesi 0,46 olarak bulunmuştur (Tablo 7). Deneme alanı- aile etkileşiminin (σ_{a}) istatistik açıdan anlamlı olduğu görülmektedir ($F= 0,0014$). Çap karakteri bakımından ise genotip- çevre etkileşimini gösteren ve varyans bileşenlerinden hesaplanan formüle göre deneme alanları arasında

Tablo 7. 6A ve 6B deneme sahalılarının ayrı ayrı ve birlikte analizinde çap karakteri için hesaplanan varyans bileşenleri ve bazı genetik parametreler
Table 7. Variance components and some genetic parameters for diameter in the analysis of 6A and 6B trial sites separately and pooled

Parametreler	Denemelerin tek tek analizleri		Denemelerin birlikte analizleri	
çap (mm)	6A	6B	6AB	
σ_f^2	47,65	202,04	σ_f^2	94,97
σ_b^2	97,80	172,21	σ_s^2	344,50
σ_{fb}^2	305,09	259,65	$\sigma_{b(s)}^2$	132,06
σ_e^2	1197,33	1318,60	σ_{fs}^2	27,14
σ_T^2	1647,87	1952,46	$\sigma_{fb(s)}^2$	281,30
σ_a^2	190,60	808,20	σ_e^2	1258,1
σ_{pi}^2	1550,07	1780,30	σ_T^2	2138,07
CV_{ga}	%10	19%	σ_{pi}^2	1661,51
h_i^2	0,12±0,07	0,45±0,11	σ_a^2	379,88
h_f^2	0,25±0,07	0,56±0,07	h_i^2	0,23±0,06
			h_f^2	0,46±0,04
			r_{gB}	0,77*/0,07

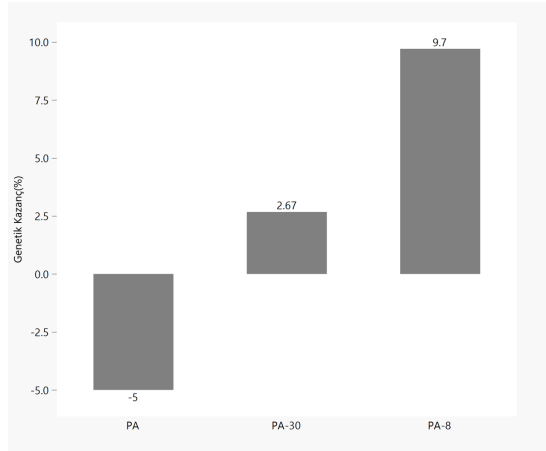
*Açıklamaları Tablo 5'te verilmiştir.

genetik korelasyon (r_{gB}) 0,77 olarak bulunmuştur. Genel kombinasyon değerleri (BLUP) üzerinden ve korelasyon formülü kullanılarak hesaplanan deneme alanları arasında genetik korelasyon (r_{gB}) 0,07 olarak bulunmuştur (Tablo 7).

Denemelerin önceki yaşlarında incelenen karakterleri arasında birinci seri denemelerden daha yüksek korelasyonların olduğu görülmektedir (Tablo 8). İkinci seri denemelerde en yüksek fenotipik korelasyon 16. yaş çap karakteri ile 12. yaş çap karakteri arasında (0,96) bulunmuştur. Genetik korelasyonlarda, 20. yaş çap karakteri ile en yüksek genetik korelasyon 16. yaş ile olurken, 12. yaş çapta yüksek, 8. yaş çapı ve boyu kabul edilebilir

Tablo 8. İkinci seri denemelerde karakterler arasındaki fenotipik (üst-sağ çapraz) ve genetik korelasyonlar (alt-sol çapraz)
Table 8. Phenotypic (upper diagonal) and genetic correlations (lower diagonal) among the traits

Karakter	Boy 4	Boy 8	Çap 8	Boy 12	Çap 12	Çap 16	Çap 20
Boy 4		0,90	0,91	0,80	0,78	0,71	0,58
Boy 8	0,89		0,95	0,94	0,88	0,80	0,67
Çap 8	0,91	0,91		0,91	0,92	0,85	0,72
Boy 12	0,72	0,70	0,55		0,93	0,88	0,76
Çap 12	0,72	0,84	0,84	0,78		0,96	0,87
Çap 16	0,71	0,76	0,80	0,65	0,93		0,94
Çap 20	0,67	0,71	0,75	0,62	0,88	0,97	



Şekil 3. İkinci seri denemelerde zon içi kontrol materyaline göre genetik kazanç
Figure 3. Estimated genetic gain in the second series progeny trials compared to control material of the same zone

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Genetik parametreler

Kızılçam (*Pinus brutia*) döl denemelerinde elde edilen genetik parametreler ülkemizde orman ağacı ıslahı çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Bu parametreler ise genetik varyans, çevresel varyans, kalıtımın derecesi ve genetik korelasyonlar gibi ölçütlerdir ve seçilecek materyalin uzun vade-

düzeydedir. Genetik korelasyonlar tıpkı birinci seride olduğu gibi ikinci seride de fenotipik korelasyonlara kıyasla daha düşük bulunmuştur.

3.4. İkinci seri denemeler için genetik kazanç

İkinci seri denemelerdeki genetik kazanç hesaplanırken birinci serideki yol izlenmiştir. İkinci seri denemelerde 20. yaş çap karakteri için en yüksek ıslah değerine sahip 30 aile ile yeni bir tohum bahçesi kurulması durumunda elde edilecek genetik kazanç ~%3 olarak tahmin edilmiştir (Şekil 3). Seleksiyonun yoğunluğu %10 alındığında, yani 75 aileden ıslah değeri en yüksek 8 aile kullanıldığında ise %9,70 kazancın sağlanacağı tahmin edilmiştir.

de verim, uyum ve dayanıklılık açısından nasıl bir potansiyele sahip olacağını ortaya koyarlar. Özellikle çap ve boy gibi büyüme karakterlerine ait genotipler arası farkların istatistiksel açıdan anlamlı bulunması, bu özellikler bakımından varyasyonun mevcut olduğunu ve doğal popülasyonlarda genetik çeşitliliğin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, farklı bölgelerden toplanan deneme materyalinin geniş bir genetik tabana sahip olduğunu desteklemektedir.

Ağaç ıslahı çalışmalarında kalıtım derecesi (h^2) değerleri seleksiyonun başarısını doğrudan etkilemektedir. Düşük kalıtım derecelerinde genetik kazancın (verim, kalite) seleksiyon başarısı düşük olurken, yüksek kalıtım derecelerinde yükselmektedir. Bu bakımdan ağaç ıslahı programları kalıtım derecesi bilinmeden yürütülemez. Denemeler ayrı ayrı değerlendirildiğinde, birinci seri içindeki denemelerden 5B deneme alanında çap karakteri için tahmin edilen kalıtımın derecesi 0,25 ve 5A deneme alanında ise 0,20 olarak; ikinci seri denemelerinden 6A deneme alanında kalıtım derecesi 0.12 ve 6B deneme alanında ise 0,45 olarak belirlenmiştir. Bu farklılıklar, deneme alanlarındaki çevresel varyasyonun düzeyleri ile genetik varyasyonun çevreye göre ne ölçüde ifade edildiği ile doğrudan ilişkilidir.

Kalıtım derecesi (h^2), genetik varyansın toplam

fenotipik varyansa oranı olduğundan, çevresel varyansın yükselmesi kalıtımın derecesini düşürmektedir (Falconer ve Mackay, 1996). Nitekim, 5B ve 6A deneme alanlarında 5A ve 6B'ye göre daha heterojen çevresel koşulları (daha yüksek parsel varyansı ve hata varyansı oranları) aynı ailelerle kurulan deneme alanlarında farklılıklar oluşturabilmektedir. Ancak parsel varyansının, parseller arası çevresel farklılık yanında parsel içi bireylerin genetik farklılığını da içerdiği dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, çevresel koşulların daha homojen olduğu deneme alanlarında, çevresel varyansın daha iyi bir şekilde kontrol edilmesi ile genetik farklılıkların da daha iyi ortaya çıkması sağlanmakta ve genetik potansiyel maskelenmemektedir. Nitekim, homojen ortamlarda yürütülen denemelerde göğüs yüksekliği çapı ve boy gibi büyüme karakterlerinin kalıtım derecelerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Bakış ve ark., 2019). Farklı deneme alanlarının ekolojik özelliklerinin benzer olabilmesi, ıslah zonunda örneklemeye açısından önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, genetik materyalin performansını daha doğru değerlendirebilmek ve genotip çevre varyansını daha isabetli ortaya koyabilmek için çok lokasyonlu döl denemelerinin kurulmasında yarar bulunmaktadır.

Akdeniz Bölgesi orta yükselti kuşağı (401-800 m) ıslah zonunda kurulu döl deneme alanları arasında kontrol materyaline göre önceki yaş sonuçlarında olduğu gibi çap büyümesi açısından belirgin farklılık gözlemlenmiştir. Ancak, 20. yaş çap karakteri için plus ağaçların ortalama ıslah değerleri, kontrol materyallerinin ortalama ıslah değerlerinden farklılık göstermemiştir. Bireysel kalıtım derecelerinin karekökü üstün ağaç seçiminin isabet derecesini göstermektedir. Kalıtım derecelerinin ortak değerlendirilmelerde yansız (*unbiased*) olarak tahmin edilmektedir (Düzgüneş ve ark., 1991; White ve ark., 2007). Birinci seri denemelerin ortak değerlendirmesinde üstün ağaç seçiminin isabet derecesi 0,47; ikinci seri denemelerde 0,48 olmaktadır. Diğer bir deyişle üstün ağaç seçimi ile %47-%48 oranında genetik değeri de üstün ağaçların seçimi olasıdır. Ayrıca, üstün ağaç seçimleri büyüme (boy, çap ve hacim) ve kalite (gövde düzgünlüğü, gövde dolgunluğu iyi, lif kıvrıklığı bulunmayan, vb.) özelliklerinin oluşturduğu bir indekse göre yapılmaktadır. Doğal olarak bu indeksteki özellik sayısının arttığı oranda tek özellik (göğüs yüksekliği çapı) için etkinlik (isabet derecesi) düşebilecektir. Bu konuda özellikle kalıtım derecelerinin düşük olduğu orman ağaçlarında genetik yönden üstün ailelerin seçiminde döl denemelerinin etkinliğinin bir kez daha teyit edildiğini de vurgulamak gerekir.

Islah çalışmalarında kalıtım derecesinin zamanla

değişmesinin bilinmesi ıslah programının ileriye taşınması için önemlidir. Denemelerin birlikte analizinde göğüs yüksekliği çapında bireysel kalıtım dereceleri 8., 12., ve 20. yaşlar için sırasıyla 0,17; 0,18 ve 0,23 olmuştur. Bu durumda göğüs yüksekliği çapında kalıtım derecelerinin 0,17-0,23 arasında değiştiği ve yaşla birlikte yükseldiği görülmektedir.

Birinci ve ikinci seride göğüs yüksekliği çapı için varyans bileşenlerinden hesaplanan formüle göre B tipi genetik korelasyon sırasıyla 0,95 ve 0,77 olarak, genel kombinasyon değerleri (BLUP) üzerinden ve korelasyon formülü kullanılarak hesaplanan deneme alanları arasında genetik korelasyon sırasıyla 0,40 ve 0,07 olarak bulunmuştur. B tipi genetik korelasyonlar, aynı karakterin farklı çevrelerdeki genotip değerleri arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu gösterdiğinde $G \times C$ etkileşiminin uygulama kararlarını önemli ölçüde etkilemediğini ortaya koymaktadır. (Shelbourne, 1972; Burdon, 1977; Li ve ark., 2017; Lai ve ark., 2017; McLean ve ark., 2024).

Aynı şekilde 4. yaş boy, 8. yaş boy ve göğüs yüksekliği çapı ve 12. yaş göğüs yüksekliği çapında da varyans bileşenlerinden hesaplanan formüle göre $G \times C$ etkileşimi önemli çıkmamıştır (Öztürk ve ark., 2006; Öztürk ve ark., 2010). Her iki seri için de analizlerin yalnızca iki deneme alanından elde edilen verilere dayanması, $G \times C$ etkileşiminin kapsamlı ve genellenebilir biçimde ortaya konulmasını sınırlandıran önemli bir faktördür. Bu kapsamda $G \times C$ etkileşimlerini belirlemeye yönelik denemelerin kurulması kızılçam ıslah çalışmalarının geleceği açısından önem taşımaktadır. $G \times C$ etkileşiminin düzeyinin belirlenmesi için Akdeniz Bölgesi ıslah zonunda (alçak, orta ve yüksek zonda) bulunan toplam en az 15 adet deneme sahası kurulmalıdır.

Kızılçam ıslah programı bu zon için değerlendirildiğinde $G \times C$ etkileşimi için iki hesaplama yöntemi arasındaki farklılık dikkat çekmektedir. Birinci seri denemelerde varyans bileşenlerine dayalı B tipi genetik korelasyon ($r_{gB}=0,95$) yüksek düzeyde bulunurken, BLUP değerleri üzerinden hesaplanan genetik korelasyon ($r_{gB}=0,40$) belirgin biçimde düşük kalmıştır. Bu farklılık, varyans bileşeni yaklaşımının popülasyon düzeyindeki genel eğilimi yansıtmasına karşın, BLUP tabanlı korelasyonun aile bazındaki sıralama değişimlerini daha duyarlı biçimde ortaya koymasından kaynaklanmaktadır (Li ve ark., 2017). Dolayısıyla, istatistiksel açıdan anlamsız bulunan $G \times C$ etkileşiminin uygulamada göz ardı edilebilir düzeyde olduğu sonucuna varılmamalıdır. Nitekim ikinci seri denemelerde BLUP tabanlı genetik korelasyon 0,07'ye gerilemiş olup bu değer, iki deneme alanı arasında aile perfor-

mans sıralamalarının büyük ölçüde farklılaştığına ve her lokasyon için bağımsız seleksiyon kararları alınması gerektiğine işaret etmektedir. Böyle bir durumda, tüm zon için tek bir ıslah değeri sıralamasına dayanılarak yapılacak seleksiyon ve tohum bahçesi kararları, gerçekleşen genetik kazancı önemli ölçüde sınırlayabilir. Bu bulgular, tüm zon için tek bir aile sıralamasına dayalı seleksiyon yapılmasının elde edilecek genetik kazancı sınırlayabileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla, 6A ve 6B deneme alanlarının temsil ettiği farklı ekolojik koşullar dikkate alınarak bu alanlara özgü üstün ailelerin ayrı ayrı belirlenmesi ve bu ailelerden oluşturulacak genotipik tohum bahçelerinin tesis edilmesi, elde edilecek genetik kazancı artırabilecek bir strateji olarak değerlendirilebilir (White ve ark., 2007; Li ve ark., 2017). Ancak bu yaklaşımın sağlıklı biçimde uygulanabilmesi, yalnızca iki deneme alanından elde edilen mevcut verinin ötesinde, daha geniş kapsamlı ve çoklu denemelerden elde edilecek bulgularla desteklenmesine bağlıdır. Döl denemelerinde özellikler arası (A tipi) ve yaş-yaş genetik korelasyonları, birinci seri denemelerde 0,48-0,93 arasında; fenotipik korelasyonlar ise 0,50-0,93 arasında bulunmuştur. İkinci seri denemelerde genetik korelasyonlar 0,55-0,97; fenotipik korelasyonlar ise 0,58-0,96 arasında bulunmuştur. Genetik korelasyonların yüksek olması iki karakteri kontrol eden genlerin aynı veya bağlı genler olduğuna işaret etmektedir. Bu durumda iki karakter arasındaki pozitif yüksek genetik korelasyonlar bu karakterlerden birine göre seçim yapıldığında, seçimin diğer karakter için de yapılabileceğini göstermektedir. Lu ve Charrette (2008), özellikler arasında yüksek ve pozitif genetik korelasyonun olması durumunda, ölçmesi daha kolay ve ucuz olan özelliğin seçim için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çerçevede, daha önceki yaşlarda göğüs yüksekliği ve çapı arasında yüksek genetik korelasyonların olması ve boy ölçümlerinin zorlaşmasından dolayı göğüs yüksekliğindeki çapı tercih edilmiştir.

Kızılçamda yürütülen çalışmalarda, erken seleksiyon yaşının incelenen karaktere ve hedeflenen ileri yaş performansına bağlı olarak değiştiği ortaya konulmuştur. Özbey ve ark. (2019), 40. yaş boy özelliğinin tahmini için optimum seleksiyon yaşının 10, aynı yaştaki çap özelliğinin tahmini için ise 8 olabileceğini bildirmişlerdir. Kurt ve Işık (2021), yıllık seleksiyon etkinliği yaklaşımını kullanarak 40 yaş performansının tahmini için 3-5 yaş, 100 yaş performansının tahmini için ise 5-9 yaş aralığının erken seleksiyon yaşı olarak uygun olabileceği değerlendirmişlerdir. Acet (2023) ise erken seleksiyon yaşını; zaman kazancı, kalıtım dereceleri, yaş-yaş genetik korelasyonları, nesil başına seçim verimli-

liği katsayısı, verimli tohum verme yaşı, genetik ve fenotipik varyasyon katsayıları ile genetik kazançları birlikte değerlendirerek ele almıştır. Bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, optimum seleksiyon yaşı açısından 20-30 ailelik seleksiyonlarda 12. yaş çap karakterinin, 20 veya daha az sayıda aile seçiminin hedeflendiği durumlarda ise 8. yaş boy karakterinin öne çıktığı sonucuna varılmıştır.

Birinci seri denemelerde, 8., 12. ve 16. yaş çap ölçümlerine dayalı seleksiyonların 20. yaşta sırasıyla %62, %76 ve %93 oranında aynı ailelerin seçilmesine olanak tanınması, özellikle 12. ve 16. yaşlardan itibaren erken seleksiyonun güvenilirliğinin belirgin biçimde arttığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Ege Bölgesi Alt Yükselti Kızılçam Islah Zonundaki Muğla- Marmaris ve İzmir-Gazidemir deneme alanlarında 12. ve 16. yaş çap ile 21. yaş çap arasındaki genetik korelasyonların yüksek bulunmasıyla (0,83-0,94) da uyumludur (Acet 2023). İzmir-Bergama deneme alanında ise aynı yaşlar için korelasyonların daha düşük olması (0,63-0,65), erken seleksiyon başarısının deneme alanına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir (Acet, 2023). Benzer şekilde ikinci seride 4. yaş boyu, 8. yaş boyu, 8. yaş çapı, 12 yaş çapı ve 16. yaş çapı için seçim yapıldığında 20. yaş için sırasıyla, 0,67; 0,71; 0,75; 0,88 ve 0,97 oranında aynı ailelerin seçilebileceği görülmektedir. Acet (2023)'in Ege Bölgesi Alt Yükselti Kızılçam Islah Zonundaki çalışmasında 12. yaştaki çap ölçümlerinin hem genetik korelasyonlar hem de genetik kazanç açısından öne çıktığı görülmektedir. Döl denemelerinde en uygun seçim yaşı her deneme sahası ayrı ayrı değerlendirilerek ve bütüncül olarak (zaman, kalıtım dereceleri, yaş-yaş genetik korelasyonlar, nesil başına seçim verimliliği katsayısı, verimli tohum verme yaşı, genetik ve fenotipik varyasyon katsayıları ile genetik kazançlar birlikte) değerlendirilerek ayrıca incelenmelidir.

4.2. Genetik kazançlar

Birinci seri denemelerde 20. yaş çapı için ıslah değeri en yüksek 30 ailenin seçimiyle %11 kazancın sağlanacağı tahmin edilmiştir. İkinci seri denemelerde ise genetik kazanç %3 olmuştur. Bu durum ikinci seri denemelerde seleksiyon yoğunluğunun düşük olması (birinci seri 275, ikinci seri 75 aile) yanında tahmin edilen gerçekleşmiş kazanç olmasından dolayı karşılaştırma yapılan kontrol materyallerinin performansının da etkisi olabileceği değerlendirilmektedir. Çalışmamızda elde edilen genetik kazanç değerleri, Akdeniz Bölgesi Alçak Islah Zonu'nda (0-400 m) yürütülen ve 20. yaş sonuçlarına dayalı kızılçam döl denemelerinde bildirilen bulgularla karşılaştırıldığında, benzer bir

aralıkta yer almaktadır. Özyalçın ve ark. (2020), genetik kazancı birinci seri için %17, ikinci seri için ise %11,3 olarak tahmin etmişlerdir. Bu değerlerin, özellikle birinci seri açısından çalışmamızda tahmin edilen %11'lik kazançtan daha yüksek olması, seleksiyonun yoğunluğu, deneme deseni, kontrol materyalinin seçimi ve kullanılan değerlendirme yöntemlerindeki farklılıklarla açıklanabilir. Her iki çalışmada da seri bazında genetik kazançların farklılık göstermesi ise kızılçam ıslah programlarında genetik ilerlemenin deneme materyalinin yapısı ve seleksiyon stratejilerine yüksek derecede duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Birinci seri denemelerin birlikte analizinde, 270 plus ağaca ait ailelerin tamamının zon içi kontrol materyali ile kıyaslandığında anlamlı bir genetik kazanç ortaya koyamaması, kontrol materyalinin niteliği ve deneme alanlarındaki çevresel varyasyonla birlikte değerlendirilebilir. Her şeyden önce, kontrol grubu olarak kullanılan zon içi materyalin rastgele ya da düşük nitelikli bir populasyonu temsil etmediği; aksine, aynı ıslah zonu içerisinde büyüme performansı bakımından görece üstün özellik gösteren bireylerden/tohum meşcerelerinden elde edildiği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle Serik-Pınargözü ve Anamur-Kükür kaynaklı kontrol materyalinin deneme alanlarında beklenenin üzerinde büyüme performansı göstermesi, plus ağaç aileleri ile kontrol materyali arasındaki farkın daralmasına neden olmuş olabilir. Öte yandan, kontrol materyalinin geniş popülasyon tabanına sahip tohum meşcerelerinden elde edilmesi, aile varyasyonunu baskılayan bir etki yaparak seleksiyon diferansiyelini daraltmış olabilir (White ve ark., 2007). Ayrıca, 270 aileden oluşan geniş materyal tabanının, özellikle düşük-orta kalıtım derecesine sahip göğüs yüksekliği çap karakteri bakımından ortalamaya yakın bir ıslah değeri dağılımı üretmesi beklenen bir durumdur. Bu koşullarda populasyon ortalamasının, zaten iyi performans gösteren zon içi kontrol materyali ortalamasından istatistiksel olarak anlamlı şekilde ayrışması zorlaşmaktadır. Son olarak, 5A ve 5B deneme alanları arasındaki ekolojik farklılıklar ile yüksek çevresel varyans bileşenleri de genetik farklılıkların fenotipik ifadelerini kısmen maskeleyerek beklenen genetik kazancın açık biçimde ortaya çıkmasını sınırlandırmış olabilir. Dolayısıyla burada genetik kazancın ortaya çıkamaması, plus ağaç ailelerinin ıslah potansiyelinin bulunmadığı şeklinde değil; karşılaştırmanın, aynı zon içerisinde büyüme bakımından zaten seçilmiş ve güçlü performans gösteren bir kontrol materyaline karşı yapılmış olmasıyla açıklanmalıdır.

İkinci seri denemelerde, Şekil 3'te görüldüğü üzere, 75 ailenin tamamının birlikte değerlendirilme-

si durumunda zon içi kontrol materyaline kıyasla yaklaşık -%5 düzeyinde negatif genetik kazanç elde edilmesi, dikkatle irdelenmesi gereken önemli bir bulgudur. Bu bulgu, mevcut tohum bahçelerindeki klonların tamamından elde edilen yarım kardeş döllerin ortalama çap gelişimi bakımından kontrol materyalinin gerisinde kaldığına ve söz konusu bahçelerin seleksiyon kazancı açısından sınırlı bir etkinliğe sahip olduğuna işaret etmektedir. Bu sonucun olası nedenleri birlikte ele alındığında, öncelikle çalışmada değerlendirilen dört fenotipik tohum bahçesinin (TB-10, TB-21, TB-22, TB-27) 1981-1986 yılları arasında, ıslah programının ilk aşamasında ve herhangi bir genetik test sonucuna dayanılmadan tesis edildiği görülmektedir. Bu erken kuşak bahçelerde materyal seçimi yalnızca fenotipik üstünlük kriterlerine göre yapılmış; genotipik değer, döl denemesi verileriyle doğrulanmamıştır. Nitekim Öztürk ve ark. (2010), daha önceki yaş değerlendirmelerine dayanarak TB-22'nin ağaçlandırmalarda kullanılmamasını önermişlerdir; bu öneri, söz konusu bahçelerde genetik ilerlemenin yeterince sağlanamadığının erken bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Buna ek olarak, birbirinden farklı coğrafi kökene sahip klonların bir arada bulunduğu tohum bahçelerinde açık tozlaşma koşullarında gerçekleşen çapraz tozlaşmanın, bazı aileler için heterozis etkisi yerine akraba melezlemesine (inbreeding) zemin hazırlamış olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (White ve ark., 2007). Öte yandan, ikinci seri denemelerde deneme alanı $\times$ aile etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı çıkması ($F=0,0014$) ve BLUP tabanlı genetik korelasyonun son derece düşük bir değer alması ($rgB=0,07$), klon materyalinin iki deneme alanında tutarsız bir performans sergilediğine ve $G \times C$ etkileşiminin bu seride kontrol materyali ortalamasının altında kalınmasına katkıda bulunmuş olabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, negatif kazancın tek bir nedene indirgenemeyeceği; ilk kuşak fenotipik seleksiyona dayalı materyal kullanımı, tohum bahçesi klonlarının genetik yapısı ve güçlü genotip $\times$ çevre etkileşiminin birlikte belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.

Genetik kazancın uygulamaya aktarılması için ıslah zonundaki mevcut tohum bahçelerinde ıslah değeri düşük tohum bahçeleri yerine ıslah değeri yüksek tohum bahçelerinden tohumların toplanması tercih edilebilir. Öztürk ve ark. (2010) da genetik kazancı düşük TB-22'nin ağaçlandırmalarda kullanılmamasını önermişlerdir. Diğer yandan mevcut tohum bahçelerindeki ıslah değeri düşük olan aileler aralama ile çıkartılabilir veya daha kolay olanı ise tohum bahçelerinde seçici hasatın yapılmasıdır.

Öneriler

Akdeniz Bölgesi Orta Yükselti Islah Zonundaki döl denemelerinin 20. yaş göğüs yüksekliği çapı için yapılan değerlendirme sonunda genetik parametreler ve genetik kazançlar tahmin edilmiş ve kalıtım derecelerinin orman ağaçlarında görülen seviyelerde olduğu görülmüştür. Korelasyon verilerine göre, genotip×çevre etkileşiminin zon içinde uygulamayı etkileyecek düzeyde olup olmadığını ortaya koymak için her seride iki denemenin yeterli olmadığı görülmektedir. Bunun yanında 8. yaş göğüs yüksekliği çapına göre seçim yapıldığında, 20 yaş için de birinci seride %62, ikinci seride ise %75 oranında aynı ailelerin seçilebileceği tahmin edilmiştir.

Çap karakteri için en yüksek ıslah değerine sahip 30 ailenin seçimiyle birinci seride %11, ikinci seride ise %3 genetik kazancın sağlanabileceği anlaşılmıştır. Diğer bir deyişle döl denemesinde 20. yaş ölçümlerine göre fidanları en iyi çap gelişimi yapan elit (üstün ana ağaç) ağaçlar ile aşıli genotipik tohum bahçeleri kurulmaktadır. Tohumun sadece bu bahçelerden kullanarak çap gelişimi bakımından birim zaman ve alanda %3-%11 artış sağlanarak daha fazla servet elde edilebilmektedir. Bu kazancın bir an önce uygulamaya aktarılması için ihtiyaç duyulan Orman Bölge Müdürlüklerinde yeni genotipik tohum bahçeleri kurulabilir.

Islah çalışmalarını daha uzun dönemli ve isabetli tahminler ile yürütmek için döl denemelerinde bakım ve gözlem çalışmaları mutlaka sürdürülmelidir.

Bu gibi araştırmalar Türkiye'nin taraf olduğu ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün sorumlu olduğu BM Biyoçeşitlilik Sözleşmesi açısından da önemlidir.

Teşekkür

Bu makale, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olan ANK-009 1604;19.1608; 20.1602/1996-2015-2021-2031 nolu "Akdeniz Bölgesi Orta Yükselti Kuşağı Islah Zonunda (401-800m) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Döl Denemeleri (20.yaş Sonuçları)" başlığıyla hazırlanan ve OGM Araştırma İhtisas Grupları Toplantısında yayınlanması yönünde karar verilen Proje Ara Sonuç Raporundan (Kaplan ve ark., 2021) geliştirilmiştir. Çalışmalara büyük katkı veren Orman Genel Müdürlüğü'nün merkez kuruluşu ile bu çalışmalarda büyük emeği geçen Antalya, Adana Muğla Orman Bölge Müdürlüklerinin tüm çalışanlarına sağladıkları

bu destek nedeniyle, Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü araştırmacılarından Fatma Gökçe Cankara ve Tuğçe Önbaş Altan'a deneme alanlarında ölçme çalışmalarına katılımından ve ara sonuç raporunun hazırlanmasında verdiği katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Anafikir/planlama: Hikmet Öztürk, Sadi Şıklar

Literatür taraması: Abdullah Kaplan, Mehmet Acet, Oğuz Şerif Urhan

Veri toplama/işleme ve yorumlama: Abdullah Kaplan, Mehmet Acet, Oğuz Şerif Urhan, Turgay Ezen, Mehmet Çalikoğlu, Alper Ahmet Özbey, Mehmet Doğan, Ali Topal

Yazım, gözden geçirme ve düzeltme: Abdullah Kaplan, Mehmet Acet, Oğuz Şerif Urhan, Turgay Ezen, Alper Ahmet Özbey, Mehmet Çalikoğlu, Mehmet Doğan, Orhan Demir, Murat Alan, Hikmet Öztürk

Kaynaklar

Acet, M., 2023. Kızılçamda Genetik ve Fenotipik Parametrelerin Tahmini. Artvin Çoruh Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Doktora tezi. Artvin

Alan, M., Ezen, T., Öztürk, H., Çalikoğlu, M., Şıklar, S., Sabuncu, R., Polat, O., Gülbaba, A. G., Derilgen, S. I., 2013. Akdeniz Bölgesi Orta Yükselti Kuşağı Islah Zonu'nda (401-800 m) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Döl denemeleri (12. Yaş Sonuçları). Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü. Teknik Bülten No: 29. Ankara

Arslan, E. S., Örucü, Ö. K., Gülcü, S., Dirlik, S., Hoşgör, E., 2025. Prediction of the shift of the distribution of *Pinus brutia* Ten. under future climate model. *New Forests*, 56(2): 25. Doi: 10.1007/s11056-025-10092-y

Atalay, İ., 1977. Türkiye Çam Türlerinde Tohum Transfer Rejyonlaması. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Enstitüsü. Yayın No: 1. Ankara

Bakış, Y., Turna, İ., Güney, K., 2019. Farklı kızılçam orijinlerinin büyüme performanslarının değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2): 214-225

Becker, W.A., 1992. Manual of Quantitative Genetics. Academic Enterprises, Pullman, Washington. ISBN: 0931399009 ve 9780931399008

Boydak, M., Çalışkan, S., 2014. Ağaçlandırma. OGEM-VAK. İstanbul. ISBN: 978-975-93943-8-7

Butler, D., Cullis, B., Gilmour, A., Gogel, B., Thompson, R., 2017. ASReml-R Reference Manual version 4. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HPI IES, UK

- Coşgun, S., Şahin, M., Özkurt, N., Parlak, S., 2008. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Fidanlarında Kalite Sınıflarının Belirlenmesi. Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü. Teknik Bülten: 29. Antalya
- Çalikoğlu, M., Özbey, A.A., Altun, Z.G., Yıldızbakan, A., Yırık, A., 2022. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijin denemelerinin 30. yaşında göğüs yüksekliği çapı bakımından değerlendirilmesi: Akdeniz ve Ege bölgeleri. *Theoretical and Applied Forestry* 1: 8-18. Doi: 10.53463/tafor.2022vol2iss1pp8-18
- Dhakal, L., White, T., Hodge, G., 1996. Realized genetic gains from slash pine tree improvement. *Silvae Genetica*, 45(4): 190-196
- Düzgüneş, O., Eliçin, A., Akman, N., 1991. Hayvan Islahı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi. Yayın No: 1212/349. Ankara
- Erkan, N., 2021. Geçmişten günümüze Türkiye'deki endüstriyel ağaçlandırma çalışmalarının değerlendirilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8(2): 108-116
- Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C. (1996) Introduction to Quantitative Genetics. 4th Edition, Addison Wesley Longman, Harlow. Gezer, A., Yücedağ, C., 2006. Ormancılıkta Ekim ve Dikim Yoluyla Ağaçlandırma Tekniği. SDÜ Yayın No. 63. Isparta. ISBN: 975-7929-96-4
- Henderson, C. R., 1984. Application of Linear Models in Animal Breeding. University of Guelph, Ontario, ISBN:0889550301 ve 9780889550308
- Kayaalp, G. T., Güney, M. Ç., Cebeci, Z., 2015. Çoklu doğrusal regresyon modelinde değişken seçiminin zootekniye uygulanışı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1): 1-8
- Koski, V., Antola, J., 1993. National Tree Breeding and Seed Production Programme for Turkey 1994-2003. The Research Directorate of Forest Tree Seeds and Tree Breeding, Ankara
- Kurt, Y., Isik, K., 2021. Age-age correlations and prediction of early selection age for diameter growth in a 35-years old *Pinus brutia* Ten. genetic experiment. *Forest Systems*, 30(3): e010. Doi.org/10.5424/fs/2021303-17745
- Lai, M., Dong, L., Yi, M., Sun, S., Zhang, Y., Fu, L., Xu, Z., Lei, L., Leng, C., Zhang, L., 2017. Genetic variation, heritability and genotype x environment interactions of resin yield, growth traits and morphologic traits for *Pinus elliottii* at three progeny trials. *Forests*, 8(11): 409. Doi.org/10.3390/f8110409
- Li, Y., Suontama, M., Burdon, R.D., Dungey, H.S., 2017. Genotype by environment interactions in forest tree breeding: Methodology and implications. *Tree Genetics & Genomes*. 13(3): 60. Doi.org/10.1007/s11295-017-1144-x
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., Oliver, S., 2006. SAS for Mixed Models. SAS Publishing
- Lu, P., Charrette, P., 2008. Genetic parameter estimates for growth traits of black spruce in northwestern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(12): 2994-3001
- Lynch, M., Walsh, B., 1998. Genetics and Analysis of Quantitative Traits. Sinauer Assocs. Inc., Sunderland, MA. ISBN: 9780878934812
- Matziris, D., 2000. Genetic variation and realized genetic gain from Aleppo pine tree improvement. *Silvae Genetica*, 49(1): 5-9
- McLean, D., Apiolaza, L.A., Paget, M.F., Klápště, J., 2024. Well-connected trials show low genotype x environment interaction in *Pinus radiata* breeding trials. *Forest Ecology and Management*. 561: 121887. Doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121887
- OATIAEM, 2025. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü arşivi. ortohum.ogm.gov.tr/SitePages (Ziyaret tarihi: 31.12.2025)
- OGM, 2013. Orman Genel Müdürlüğü. Endüstriyel Ağaçlandırma Çalışmaları Eylem Planı (2013-2023). Ankara.
- OGM. (2025). Ormancılık İstatistikleri. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutup-hane/resmi-istatistikler>
- Özbey, A.A., Gülcü, S., Çalikoğlu, M., Çobanoğlu, A., Erpulat, M., 2019. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)'da 40 Yaşına Gelmiş İki Orijin x Döl Denemesi Alanında Üstün Ailelerin ve Erken Seçim Yaşının Belirlenmesi. Araştırma Projesi Ssonuç Raporu. Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Antalya
- Öztürk, H., Şıklar, S., Alan, M., EZEN, T., Gülbaba, A. G., Sabuncu, R., Korkmaz, B., Tulukçu, M., Derilgen, S. I., Keskin S., Çalışkan, B., 2006. Akdeniz Bölgesi Orta Yükselti Kuşağı (401-800 m) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Islah Zonunda Döl Denemeleri (4. Yaş Sonuçları). Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü. Teknik Bülten No., 16:60s.
- Öztürk, H., Şıklar, S., Alan, M., EZEN, T., Gülbaba, A. G., Sabuncu, R., Polat, O., Çalikoğlu, M., Derilgen, S. I., Çalışkan, B., ÖZLER, H. (2010). Akdeniz Bölgesi Orta Yükselti Kuşağı (401-800 m) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Islah Zonunda Döl Denemeleri (8. Yaş Sonuçları). T.C. Orman Genel Müdürlüğü, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitü Müdürlüğü Teknik Bülteni 60s. 24. Ankara
- Ruotsalainen, S., 2014. Increased forest production through forest tree breeding. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(4): 333-344
- SAS, 1989. SAS/STAT User's Guide: Release Version 6.03 Edition, SAS Inst. ISBN-10 : 1555440886
- Schutz, W.M., Cockerham, C.C., 1966. The effect of field blocking on gain from selection. *Biometrics*, 22(4): 843-863. Doi.org/10.2307/2528078

Shelbourne, C., 1972. Genotype-Environment Interactions: Its Study and Its Implications in Forest Tree Improvement. Şu eserde: IUFRO Genetics-SABRAO Joint Symposium, Tokyo. p. 1-28

Squillace, A., 1974. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. *Silvae Genetica*, 23(5): 149-156

Şıklar, S., Öztürk, H., Alan, M., 2017. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Genetik İslah Çalışmalarının Endüstriyel Ağaçlandırmaların Verimliliğine Etkisi. Orman Mühendisleri Odası, 2023'e Doğru 4. Doğa ve Ormancılık Sempozyumu, Antalya. s71-82

Tunçtaner, K., 2007. Orman Genetiği ve Ağaç İslahı. Türkiye Ormancılar Derneği. Eğitim Dizisi, 4, Ankara

White, T. L., Adams, W. T., Neale, D. B., 2007. Forest Genetics. CABI. Doi.org/10.1079/9781845932855.0000

White, T. L., Hodge, G. R., 1989. Predicting Breeding Values with Applications in Forest Tree Improvement. Springer Science & Business Media. Dordrecht . Doi.org/10.1007/978-94-015-7833-2

Zobel, B., Talbert, J., 1984. Applied Forest Tree Improvement. New York. John Wiley & Sons. ISBN:0471096822 ve 9780471096825