

Determination of the Effects of Saponin Extract Applied at Different Doses on the Germination of *Salvia officinalis* Seeds

Tuğbagül Kocaman*, Furkan Çekiç, Yaşar Ertürk

Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Kırşehir, Türkiye.

Abstract

This study was conducted to determine the effects of different doses of saponin extract on the germination performance and early seedling development of *Salvia officinalis* L. (medicinal sage) seeds. The study was carried out in the Physiology Laboratory of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kırşehir Ahi Evran University. A total of five different treatments were evaluated in the experiment: control, hydropriming, hydropriming + saponin 1.25%, hydropriming + saponin 2.5%, and hydropriming + saponin 5%. The seeds were incubated at 25 °C for 14 days; parameters such as germination rate, germination speed, germination index, germination energy, germination rate in the first seven days, average germination time, G-50 value, root length, and root thickness were examined. The results showed that increasing saponin concentration significantly suppressed the germination and early seedling development of sage seeds. The highest germination rate (56.67%), germination speed (1.08), germination rate in the first seven days (40%), and root length (40.17 mm) were determined in the control treatment. In particular, it was found that germination was completely inhibited with the 5% saponin application. Although hydropriming applications promoted early germination in some parameters, it was determined that saponin applications had a phytotoxic effect depending on the dose increase. Correlation and principal component analysis (PCA) results showed strong relationships between germination parameters and that high saponin doses had a general suppressive effect on the biological system. In conclusion, it was evaluated that high concentrations of saponin applications inhibited germination and seedling development in *Salvia officinalis* seeds; however, saponins may have the potential to be naturally occurring biological regulators or biological herbicides.

Keywords: *Salvia officinalis*, saponin, germination, hydropriming, seedling development

Farklı Dozlarda Uygulanan Saponin Ekstraktının *Salvia Officinalis* Tohumlarının Çimlenmesinde Etkilerinin Belirlenmesi

Özet

Bu araştırma, farklı dozlarda uygulanan saponin ekstraktının *Salvia officinalis* L. (tıbbi adaçayı) tohumlarının çimlenme performansı ve erken fide gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Denemede kontrol, hidropriming, hidropriming + %1.25 saponin, hidropriming + %2.5 saponin ve hidropriming + %5 saponin olmak üzere toplam beş farklı uygulama değerlendirilmiştir. Tohumlar 25 °C'de 14 gün süreyle inkübasyona bırakılmış; çimlenme oranı, çimlenme hızı, çimlenme indeksi, çimlenme enerjisi, ilk yedi gün çimlenme oranı, ortalama çimlenme süresi, G-50 değeri, kök uzunluğu ve kök kalınlığı gibi parametreler incelenmiştir. Araştırma sonuçları, artan saponin konsantrasyonunun adaçayı tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişimini önemli düzeyde baskıladığını göstermiştir. En yüksek çimlenme oranı (%56.67), çimlenme hızı (1.08), ilk yedi gün çimlenme oranı (%40) ve kök uzunluğu (40.17 mm) kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Özellikle %5 saponin uygulamasında çimlenmenin tamamen inhibe olduğu tespit edilmiştir. Hidropriming uygulaması bazı parametrelerde erken çimlenmeyi teşvik etmiş olsa da saponin uygulamalarının doz artışına bağlı olarak fitotoksik etki oluşturduğu belirlenmiştir. Korelasyon ve temel bileşenler analizi (PCA) sonuçları, çimlenme parametreleri arasında güçlü ilişkiler bulunduğunu ve yüksek saponin dozlarının biyolojik sistem üzerinde genel bir baskılayıcı etki meydana getirdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, yüksek konsantrasyondaki saponin uygulamalarının *Salvia officinalis* tohumlarında çimlenmeyi ve fide gelişimini inhibe ettiği; buna karşılık saponinlerin doğal kaynaklı biyolojik düzenleyici veya biyolojik herbisit potansiyeli taşıyabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Salvia officinalis*, saponin, çimlenme, hidropriming, fide gelişimi.



Giriş

Çimlenme bir bitkinin toprağa tutunması, beslenmesi gibi hayati fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için ilk adımdır (Boyraz ve ark., 2019). Tohumda çimlenme, bitkilerin yaşamı, bitki çeşitliliği ve ekolojik tarım açısından önemlidir (Erkul ve Ülger, 2024). Tohumların çimlenme süreci, yapısal, kimyasal ve metabolik olarak karmaşık bir etkileşimle gerçekleşmektedir. Özellikle metabolizmayı düzenleyen engelleyiciler ve uyarıcılar arasındaki denge, tohumun uygun ekolojik koşullarda filizlenmesini sağlamaktadır. Aksi bir durum tohumda çimlenmeyi doğrudan etkileyebilir (Mayer ve Poljakoff-Mayber, 1982). Uygun çevresel faktörlerin (nem, sıcaklık vb.) bir veya daha fazlası sağlanamaması durumunda çimlenme gerçekleşmeyecek ve tohumlar zorunlu uyku halinde (dormansi) kalacaktır (Bradbeer, 1988). Dormansi, tohumun embriyo yapısına veya kabuk özelliklerine göre fizyolojik, morfolojik ve fiziksel olarak sınıflandırılabilir. Tohum kabuğu, su ve oksijen alımını kısıtlayarak çimlenmeye karşı bir bariyerken absisik asit dormansiyi teşvik ederek tohumun uyku halinde kalmasını sağlamaktadır (Fu ve ark., 2024).

Tohumlara ekim öncesi uygulanan çeşitli işlemlere priming denilmektedir (Elkoca, 2007). Priming uygulaması tohumun çimlenmesi için gerekli fizyolojik değişikliklere neden olur ve bitkilerin strese karşı direncini artırmaktadır (Nile ve ark., 2022). Dormansinin etkisini kırmak, çimlenme ve embriyo çıkışının gerçekleşmesi için ekim öncesi ve hasat sonrası belirli priming uygulamaları yapılmaktadır (Jatana ve ark., 2024). Priming uygulamaları, tohumdaki depo maddelerinin parçalanmasına aracı olan enzimleri aktif hale getirerek çimlenme ve fide gelişimini olumlu etkilemektedir. (Başaran ve ark., 2019). Ekim öncesi tohuma uygulanan çok çeşitli priming uygulamalarının sonuçları, kullanılan bitki materyali, priming kaynağı ve bekletme zamanına bağlı olarak farklı etkinliklerde olmaktadır. (Çopur Doğrusöz ve ark., 2022). Priming uygulamalarından olan hidropriming uygulamalar, tohumların belirli bir süre optimum koşullarda saf suda bekletilip ardından kurutulması işlemi olarak bilinmektedir. Bu uygulamanın en belirgin özelliği ön işlem görmüş tohumların yüksek su alımıyla ilgili fide büyümesindeki artıştır. (Dastanpoor ve ark., 2013; Jisha ve ark., 2013). Literatürde tohumda hidropriming uygulamaları ile ilgili birden fazla çalışma yapılmıştır (Sharaf ve ark., 2026; Sushma ve ark., 2023; Mutetwa ve ark., 2023; Barupal ve ark., 2022, Elmasulu 2025).

Adaçayı (*Salvia spp.*) Lamiaceae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. *Salvia* cinsine ait yaklaşık 900 tür bulunmaktadır. Dünyada coğrafi dağılışı Amerika, Güney-Batı Asya, Kuzey Asya ve Doğu Asya kıtalarına kadar yer almaktadır. Türkiye’de 97 tür ve bu türlerin 51 adeti endemik tür olarak bilinmektedir (Will ve ark., 2017; Aytekin ve ark., 2021). *Salvia* türleri, bünyesinde içerdiği uçucu yağ ve fenolik bileşikler sayesinde, bitkisel çay olarak tüketilirken, antioksidan, antibakteriyel gibi özelliklerinden kaynaklı geleneksel tıpta ve görünüşünden dolayı peyzaj bitkisi olarak kullanılmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024). Ülkemiz istatistiki verilerine bakıldığında, 2643 da üretim alanı ve 14514 ton üretim miktarına sahiptir. Başta Denizli olmak üzere Sakarya, Burdur, Muğla ve Uşak üretim yapan şehirler arasındadır (TÜİK, 2026). Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.), dünya ticari değeri olan bir türüdür. Adaçayı tohumunun çimlenmesi için gerekli alt eşik sıcaklık değerinin 8-10 °C olduğu, aynı zamanda 25-28 °C gibi daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı bir çimlenme oluşumu gözlemlendiği bildirilmiştir (Sharifi-Rad ve ark., 2018). Literatüre göre adaçayı çimlenmesi için birçok çalışma yapıldığı (Mardani Korrani ve ark., 2023; Abdani Nasiri ve ark., 2018) ve çimlenmenin zor olduğu tohumlarının farklı ön işlemler ile test edilmesi gerektiği görülmektedir (Stoian ve ark., 2024).

Saponin ismini çalkalandığında köpük oluşturma özelliği gösterdiği için latince “*Sapo*” yani sabun kelimesinden almıştır. Saponinlerin triptenik veya steroidal aglikonlu olması çalkalandığında köpük oluşmasını sağlar. Bitki bünyesinde bulunmasının yanı sıra *Echinodermata* ve *Holothuroidea* gibi bazı deniz hayvanlarının bünyesinde de saponin bulunmaktadır. Saponinlerin antifungal, antibiyotik ve antimikrobiyal etkisi olduğu bilinmektedir. Bitkiler, böcekler ile mücadele etmek üzere kendi bünyelerinde saponin sentezleyerek bir savunma oluşturdıkları bilinmektedir (Xiao ve ark., 2025). Saponinlerin biyolojik etkilerinin büyük bir kısmı hücre zarlarının geçirgenliği üzerindeki etkileriyle ilişkilendirilmiştir. Saponinlerin hemolitik etkisini aglikon kısmının hücre zarında bulunan ve çözünmeyen kompleksler oluşturdıkları fosfolipitlere olan afinitesinin sonucu olduğuna inanılmaktadır (Karakurt ve ark., 2010). Literatür araştırmaları sonucunda elde ettiğimiz bilgiler neticesinde bitki büyümesi devam ederken bünyesinde oluşan saponin miktarının doğru orantılı şekilde arttığı bildirilmektedir (Wang ve ark., 2011). Bu çalışmanın amacı *Salvia officinalis* (Adaçayı), tohumlarında farklı dozlarda uygulanan saponin ekstraktının tohumların çimlenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirilmesidir.

Materyal ve Yöntem

Bu araştırma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarında 2026 yılında gerçekleştirilmiştir.

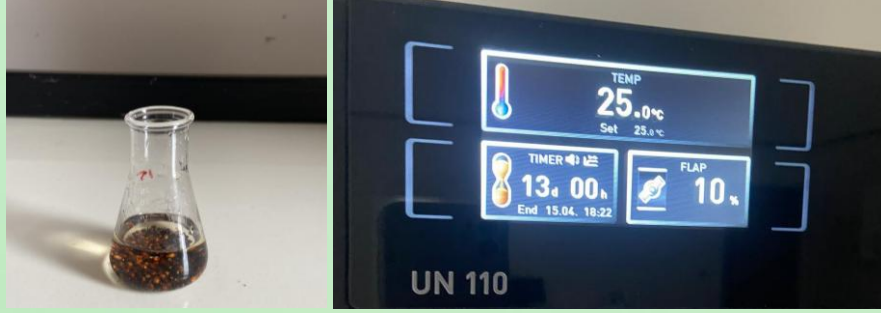
Materyaller

Bitkisel materyal, *Salvia officinalis* türüne ait homojen büyüklükteki tohumlar Patika Botanik firmasından temin edilerek kullanılmıştır. Uygulanan saponin maddesi *Saponaria officinalis*, Biomesi Bioagrotechnology R&D firmasından temin edilerek kullanılmıştır.



Yöntemler

Adaçayı (*Salvia officinalis*) tohumları ilk olarak saf sudan geçirilerek ön yıkama işlemi yapılmıştır. Saf sudan geçirilen tohumlar %5 NaClO (çamaşır suyu) + %95 saf su çözeltisinde 10 dk bekletilmiştir. Daha sonra 3'er kez saf su ile yıkanarak sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Hidropriming uygulanacak tohumlar 25 ml saf su eklenmiş beher kullanılarak 48 saat boyunca bekletilmiştir (Şekil 1.A). Hazırlanan farklı dozlarda saponin ekstraktı, 24 saat boyunca tohumlara uygulanmıştır. Bekletilen tohumlar distile sudan geçirilip daha sonra çift katmanlı kurutma kâğıdı serili petrilere yerleştirilmiştir. Tohum ekimi petri kaplarına yapılmış ve her petri kabına eşit miktarda onar adet tohum kullanılmıştır.



Şekil 1. A. Hidropriming uygulanan tohumlar, B. Çalışmada kullanılan inkübasyon cihazına ait gösterge paneli

Çalışma aşağıdaki şekilde kurgulanmıştır:

1. Kontrol (0)
2. Hidropriming (0)
3. Hidropriming + %1.25 Saponin
4. Hidropriming + %2,5 Saponin
5. Hidropriming + %5 Saponin

A

B

Her uygulama 3 tekrerrür olacak şekilde her tekrerrürde 10'ar tohum olmak üzere toplam 150 adet tohum ile deneme deseni oluşturulmuştur (Şekil 2). Petri kapları 25°C sıcaklık ayarlı inkübatörde 14 gün boyunca düzenli olarak aynı saatte kontroller edilmiştir ve çimlenen tohumlardaki radikula kısmı ölçülmüştür (Şekil 3). 2 mm uzunluğu olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir.



Şekil 2. Farklı dozlarda saponin uygulamalarının petri kaplarındaki tohumlara uygulanması 24 saat boyunca uygulanmasına ait görsel



Araştırmada yapılan çimlenme ile ilgili parametreler

1. Kök Uzunluğu: Çimlenmiş kabul edilen tohumlar Kumpas yardımı ile her gün ölçülmüş ve mm cinsinden ifade edilmiştir.



Şekil 3. Çimlenen adaçayı tohumlarına ait kök uzunluğu ölçümüne ait örnek görsel.

2. Kök Kalınlığı: Çimlenmiş kabul edilen tohumlar kumpas yardımı ile 14. gün ölçülmüş ve mm cinsinde ifade edilmiştir.



Şekil 4. Çimlenen adaçayı tohumlarının kök kalınlığı ölçümüne ait örnek görsel

3. Çimlenme Oranı: Çimlenme süresi boyunca günlük gözlemler yapılmıştır. Kök uzunluğu 2 mm'yi geçtiğinde tohumların çimlendiği kabul edilmiştir. 14 günlük deneme süresinin sonunda, çimlenen tohumların toplam sayısı kaydedilerek Scott ve ark. (1984) tarafından açıklanan prosedüre göre hesaplanmış ve % olarak ifade edilmiştir.

$$\text{ÇO} = (\text{Çimlenen tohum sayısı} / \text{Toplam tohum sayısı}) \times 100$$

4. Çimlenme Gün Sayısı: Çalışmanın başladığı gün ile ilk çimlenen tohumun gözlemlendiği gün arasındaki süre olarak ifade edilmiştir.

5. Çimlenme İndeksi: Aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmıştır (Wang ve ark., 2004). Gi: i. günde çimlenme yüzdesi, Tt: çimlenme testi süresinin gün sayısını ifade eder. $GI = \sum(Gi/Tt)$

6. Çimlenme Enerjisi: Karagüzel ve ark. (2004) tarafından uygulanan yöntem kullanılmıştır. Tohum ekim zamanının yarısında çimlenen tohum sayısı, toplam çimlenen tohum sayısına oranlanması ile hesaplanmıştır ve % olarak ifade edilmiştir.

7. Çimlenme Hızı: Aşağıdaki formüle göre yapılmıştır (Abazarian ve ark., 2011). N: Çimlenen tohum sayısı, T: Çimlenmenin gerçekleştiği gün sayısını ifade eder.

$$\text{CH} = N1/T1 + N2/T2 + \dots + Nn/Tn$$

8. İlk 7 Günde Çimlenen Oranı: İlk 7 gün çimlenen tohum sayısının, toplam tohum sayısına oranlanması ile belirlenmiştir ve % cinsinden ifade edilmiştir.

9. G-50: Deneme boyunca toplam çimlenen tohum sayısının %50'sine ulaşması için geçen süreyi ifade etmektedir.

10. Ortalama Çimlenme Süresi: Günlük sayımlar kullanılarak, ortalama çimlenme süresi, Ellis ve Roberts (1980) tarafından geliştirilen yöntem ile aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır. n: D zamanında (günde) yeni çimlenen tohum sayısı, D: Çimlenme testinin başlangıcından itibaren geçen gün sayısı, $\sum n$: Toplam (nihai) çimlenme sayısıdır.

$$\text{OÇS} = \sum (nx D) / \sum n$$



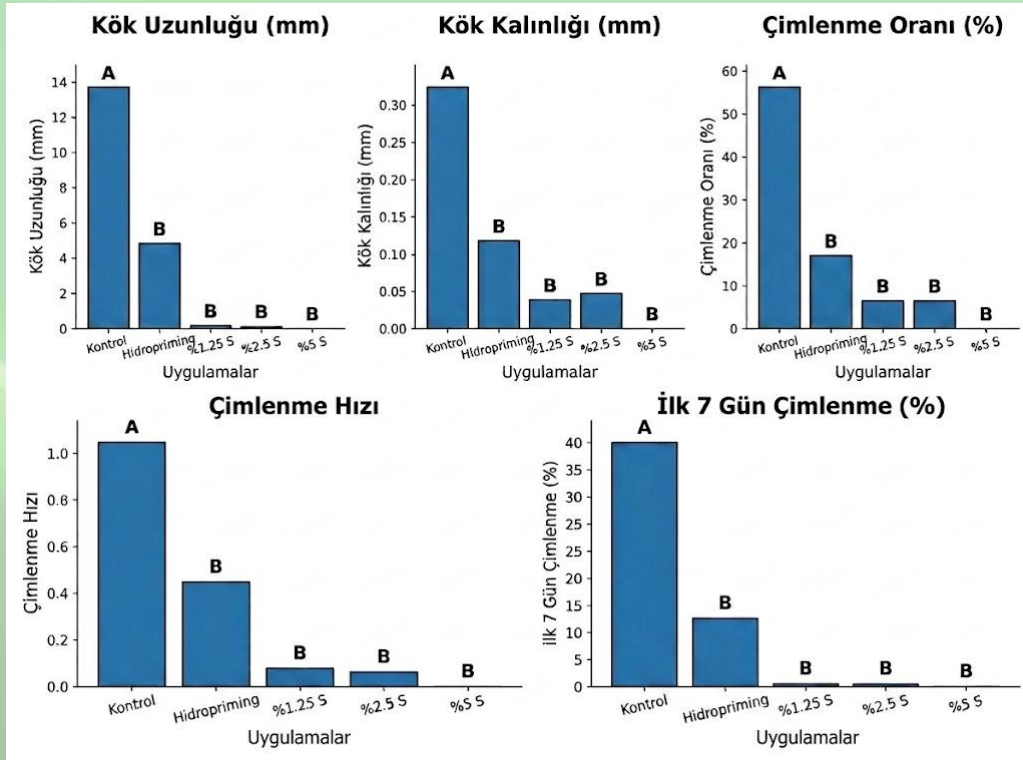
İstatistikî Analiz

Deneme 5 farklı uygulama desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 adet tohum olacak şekilde kurulmuştur. Denemede elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ile analiz edildikten sonra uygulama ortalamaları arasındaki farkların önemli olup olmadığı Duncan Çoklu Karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Bütün istatistikî analizlerde SPSS (IBM SPSS Statistics 27.0) istatistik programında analiz edilmiştir.

Bulgular

Farklı saponin dozlarının *Salvia officinalis* tohumları üzerine kök uzunluğu, kök kalınlığı, çimlenme oranı, çimlenme hızı, çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi, ilk 7 gün çimlenme oranı, çimlenme gün sayısı, G-50 ve ortalama gün sayısı incelenmiş ve veriler aşağıda değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada farklı saponin dozlarının *Salvia officinalis* tohumlarının kök uzunluğu, kök kalınlığı ve çimlenme oranı üzerine etkileri incelendiğinde, uygulamalara ait ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Kontrol uygulaması deneme süresince en yüksek kök uzunluğu değerlerini oluştururken, saponin konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak kök gelişiminin önemli ölçüde baskılandığı belirlenmiştir. Denemenin ilk iki gününde hiçbir uygulamada çimlenme gerçekleşmemiştir. İlk çimlenme, hidropriming uygulamasında 3. günde gözlenmiştir. Bununla birlikte ilerleyen günlerde kontrol uygulamasının kök gelişimi bakımından belirgin şekilde öne çıktığı görülmüştür. Deneme sonunda kontrol uygulamasında kök uzunluğu 40.17 mm olarak belirlenirken, hidropriming uygulamasında bu değer 9.98 mm'ye düşmüştür. %1.25 ve %2,5 saponin uygulamalarında kök gelişimi oldukça sınırlı kalmış, %5 saponin uygulamasında ise kök gelişimi tamamen baskılanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek kök uzunluğu kontrol uygulamasında (13.74 mm) belirlenmiş olup, diğer uygulamalar aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır. Özellikle yüksek saponin dozlarının kök uzamasını inhibe ettiği açık şekilde ortaya konmuştur. Kök kalınlığında en yüksek değer, kontrol uygulamasında 0.33 mm olarak ölçülmüş, hidropriming ve saponin uygulamalarında ise belirgin düşüşler meydana gelmiştir. %5 saponin uygulamasında kök gelişiminin tamamen baskılanması nedeniyle kök kalınlığı değeri sıfır olarak ölçülmüştür. Çimlenme oranında en yüksek değer %56,67 ile kontrol uygulamasında elde edilmiştir. Hidropriming uygulamasında çimlenme oranı %16,67'ye düşerken, %1,25 ve %2,5 saponin uygulamalarında yalnızca %6,67 oranında çimlenme gerçekleşmiştir. %5 saponin uygulamasında ise çimlenme tamamen inhibe olmuştur. Elde edilen sonuçlar saponin dozunun artmasıyla birlikte çimlenmenin baskılandığını açık şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca; tohumların 48 saat gibi uzun bir süre su içinde kalmasının embriyoda hipoksiye neden olmuş olabileceği de düşünülmektedir.

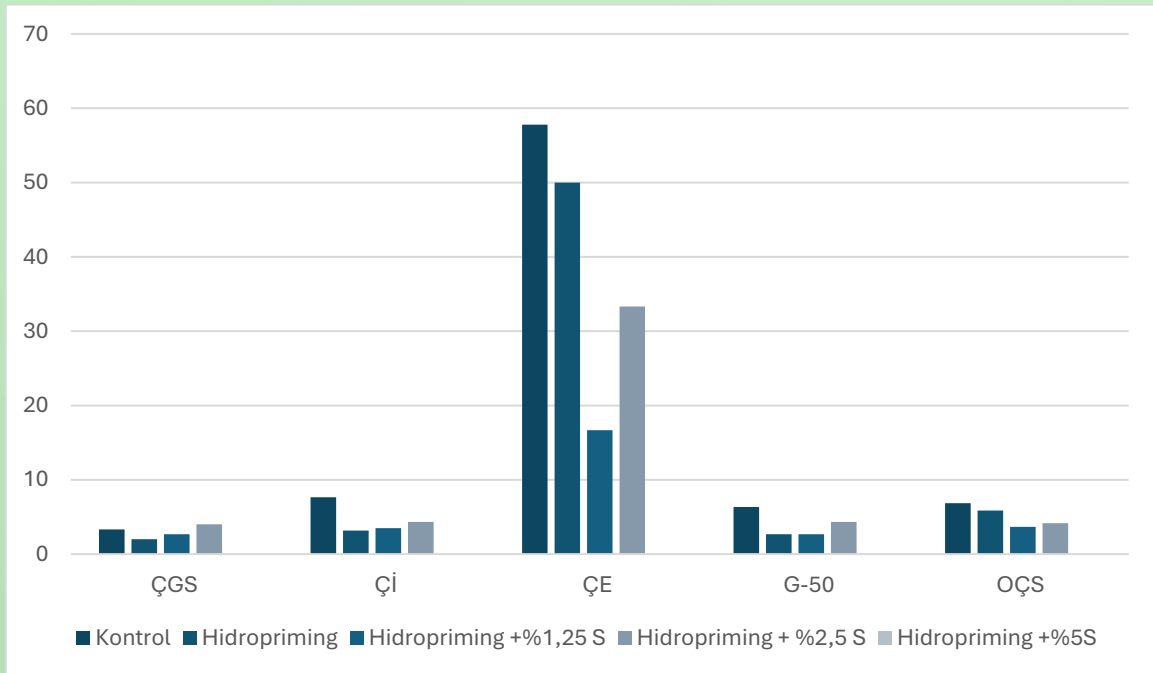


Şekil 5. Saponin uygulamalarının kök uzunluğu***, kök kalınlığı***, çimlenme oranı***, çimlenme hızı* ve ilk 7 gün çimlenme oranı* üzerine etkileri (*:0,05 ve ***:0,001 önemlilik düzeyi)



Çalışmada farklı saponin dozlarının *Salvia officinalis* tohumlarının çimlenme hızı ve ilk 7 gün çimlenme oranı bakımından uygulamalara ait ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık belirlenmiştir. En yüksek çimlenme hızı kontrol uygulamasında (1.08) elde edilirken, saponin konsantrasyonunun artmasıyla birlikte çimlenme hızında ciddi düşüşler meydana gelmiştir (Şekil 5). İlk 7 gün çimlenme oranı en yüksek değer kontrol uygulamasında (%40) elde edilmiş, hidropriming uygulamasında bu oran %13,33 olarak belirlenmiştir. Saponin uygulamalarında ise ilk yedi gün içerisinde çimlenme gerçekleşmemiştir.

Çimlenme gün sayısı, çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi, G-50 ve ortalama çimlenme süresi bakımından uygulamalar arasında istatistiki farklılıklar belirlenmemiştir (Şekil 6). Bununla birlikte uygulamalar arasında sayısal farklılıklar gözlenmiştir. Çimlenme gün sayısı, hidropriming uygulamasında ilk çimlenmenin daha erken başladığı belirlenirken, yüksek saponin dozlarında çimlenmenin geciktiği görülmüştür. Çimlenme indeksi en yüksek değeri kontrol uygulamasında elde edilmiş, hidropriming uygulamasında bu değer 50 olarak belirlenmiştir. Çimlenme enerjisinde ise kontrol uygulamasında en yüksek değer (%57,78) elde edilirken, artan saponin konsantrasyonu ile çimlenme enerjisinde azalma meydana gelmiştir. G-50 bakımından yüksek saponin dozlarında çimlenme performansının düşmesi nedeniyle G-50 değerlerinde düzensiz değişimler meydana gelmiştir. Ortalama çimlenme süresi ise kontrol uygulamasında daha uzun ortalama çimlenme süresi belirlenmiştir. Bu durum kontrol uygulamasında toplam çimlenme sayısının daha yüksek olması ile ilişkilendirilebilir.



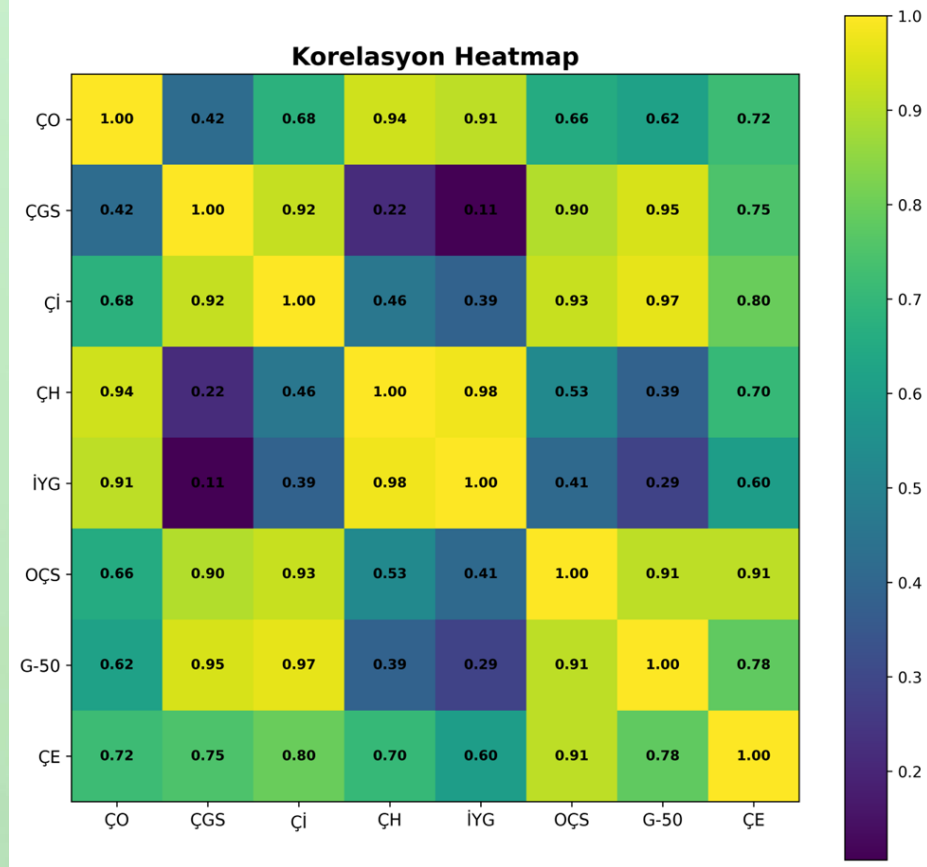
Şekil 6. Uygulamaların çimlenme gün sayısı, çimlenme indeksi, çimlenme enerjisi, G-50 ve ortalama çimlenme süresi üzerine etkileri (ÖD), ÖD: önemli değil, S: Saponin, ÇGS: Çimlenme gün sayısı, Çİ: Çimlenme indeksi, OÇS: Ortalama çimlenme süresi, ÇE: Çimlenme enerjisi

Adaçayı tohumlarında incelenen özellikler arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, çimlenme oranı ile çimlenme hızı arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki belirlenmiştir ($r=0.936$). Benzer şekilde ilk yedi gün çimlenme oranı ile çimlenme hızı arasında da oldukça güçlü pozitif ilişki saptanmıştır ($r=0.980$). Çimlenme indeksi ile G-50 arasında yüksek düzeyde pozitif ilişki belirlenmiştir ($r=0.968$). Ayrıca ortalama çimlenme süresi ile çimlenme enerjisi arasında güçlü pozitif ilişki bulunmuştur ($r=0.911$). Elde edilen korelasyon sonuçları Şekil 7' de korelasyon haritası olarak verilmiştir. Bu haritadan da görüldüğü üzere çimlenme parametrelerinin birbirleri ile yakın ilişkili olduğunu göstermektedir.

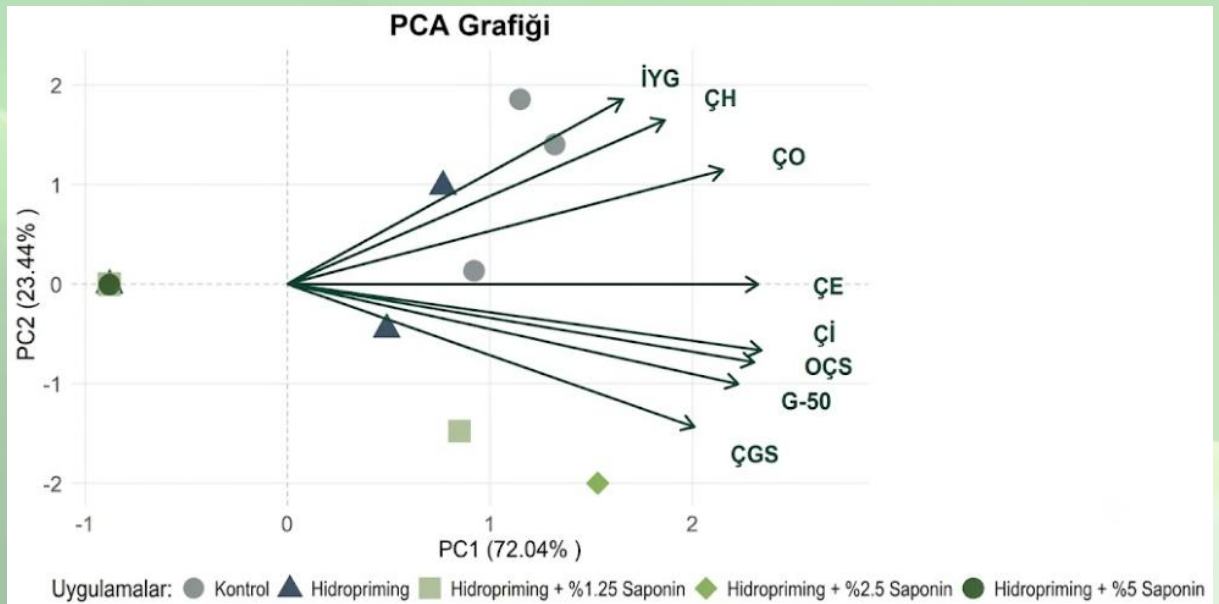
Temel Bileşen Analizi grafiğine göre, ilk iki temel bileşen toplam varyansın %95.48' ini açıklamaktadır (PC1: %72.04, PC2: %23.44). Açıklanan bu yüksek varyans oranı, oluşturulan modelin incelenen fizyolojik değişkenler arasındaki ilişkileri ve muamele farklılıklarını yüksek bir güvenilirlikle temsil ettiğini göstermektedir. Yükleme vektörleri incelendiğinde, değerlendirilen tüm çimlenme parametrelerinin (İYG, ÇH, ÇO, ÇE, Çİ, OÇS, G-50 ve ÇGS) PC1 ekseninin pozitif yönünde konumlandığı görülmektedir. Bu durum, PC1 ekseninin tohumların genel çimlenme performansı ve canlılığı ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, vektörler arasındaki dar açılar, söz konusu parametreler arasında güçlü bir pozitif korelasyon bulunduğunu doğrulamaktadır. Uygulamaların biplot üzerindeki skor dağılımları muamelelerin belirgin kümeler oluşturduğunu göstermektedir. Kontrol ve yalnızca hidropriming uygulanan gruplar, PC1 ve PC2'nin pozitif kadrantında yer alarak özellikle İlk Çimlenme Günü (İYG), Çimlenme Hızı (ÇH) ve Çimlenme Oranı (ÇO) parametreleriyle güçlü bir ilişki



sergilemiştir. Buna karşın, hidropriming ile kombine edilen düşük ve orta doz saponin uygulamaları (%1.25 ve %2.5), sağ alt kadranda konumlanmış ve Çimlenme İndeksi (Çİ), Ortalama Çimlenme Süresi (OÇS), G-50 ve ÇGS gibi değerleri teşvik etmiştir. Öte yandan, en yüksek saponin dozu olan %5 uygulamasının tüm imlenme vektörlerinin aksi yönünde, PC1 ekseninin güçlü negatif bölgesinde izole bir şekilde konumlandığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, %5 saponin uygulamasının *S. officinalis* tohumları üzerinde fitotoksik bir etki yaratarak çimlenme sürecini belirgin düzeyde inhibe ettiğini açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 8).



Şekil 7. Saponin uygulamalarının *Salvia officinalis* tohumlarındaki çimlenme parametrelerine etkilerine dair korelasyon haritası, ÇO: Çimlenme oranı, ÇGS: Çimlenme gün sayısı, Çİ: Çimlenme indeksi, ÇH: Çimlenme hızı, İYG: İlk yedi gün çimlenme oranı, OÇS: Ortalama çimlenme süresi, ÇE: Çimlenme enerjisi



Şekil 8. Temel Bileşenler Analizi



Tartışma

Saponinler, amfifilik yapıya sahip sekonder metabolitlerdir ve membran sterollerini ile etkileşime girerek hücre zarında geçirgenlik değişimlere neden olduğu bilinmektedir. Bu durum özellikle imbibisyon sürecinde su alımı, iyon dengesi ve metabolik aktivite üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Literatürde saponinlerin biyolojik etkilerine ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Oleszek ve ark. (1998), saponinlerin genç bitki gelişimi üzerinde inhibitör etki oluşturabileceğini belirtmiştir. Kariyawasam ve ark. (2023), eucalyptus saponinlerinin bazı bitki türlerinde çimlenme ve kök gelişimini baskıladığını bildirmiştir. Marques ve ark. (2023) ise Quillaja kaynaklı saponinlerin biyolojik herbisit potansiyeli taşıdığını ifade etmiştir. Saponin ekstraktının %1.25 ve %2.5 gibi en düşük dozlarında dahi çimlenme oranının %6.67 seviyelerine gerilemiş olması, saponinlerin güçlü fitotoksik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Triterpenoid veya steroid yapıda olan bu sekonder metabolitler, tohum hidrasyonu esnasında tohum kabuğunun lipid ve sterol bileşenleri ile etkileşime girerek membran bütünlüğünü bozmakta ve hücresel sızıntılara yol açmaktadır. Nitekim, Oleszek et al. (1998) ve Marques et al. (2023) tarafından yapılan çalışmalarda, saponinlerin tohum hidrolik enzim aktivitelerini (özellikle alfa-amilaz) bloke ettiği ve radikula hücre bölünmesini durdurarak güçlü bir herbisit etkisi gösterdiği rapor edilmiştir. Bu durum, çalışmamızda saponin dozlarının artışına paralel olarak gözlenen çimlenme baskılanmasını mekanizmik olarak açıklamaktadır.

Araştırma bulgularımızda, kontrol grubunda %56.67 olan çimlenme oranının, saf su ile gerçekleştirilen hidropripping uygulamasında keskin bir düşüş göstererek %16.67'ye gerilemesi dikkat çekicidir. Bu durum, *Salvia officinalis* tohumlarının 48 saat gibi uzun bir süre su içerisinde statik olarak bekletilmesi esnasında, tohum embriyosunun gereksinim duyduğu çözünmüş oksijene erişememesinden ve buna bağlı gelişen hipoksik (asfiktik) strese kaynaklanabilir. Literatürde, tohum kabuğu geçirgenliği ve müsilaj yapısı hassas olan bazı tıbbi bitki tohumlarında aşırı su alımının (imbibisyon hasarı) ve oksijensizliğin solunum enzimlerini bloke ettiği bilinmektedir (Karagüzel ve ark., 2002).

Saponinlerin membran sterollerini ile etkileşime girerek hücre membran stabilitesini bozabildiği ve bu nedenle hücre bölünmesi ile uzamasını olumsuz etkileyebildiği bildirilmektedir. Kök gelişiminin baskılanması, saponinlerin hücre zar geçirgenliği üzerindeki etkileri ile daha net ortaya çıkmaktadır. Ayrıca saponinlerin yüksek konsantrasyonlarda oksidatif stres oluşturabileceği ve kök meristem dokularında gelişimi sınırlandırabileceği ifade edilmektedir. Özellikle yüksek saponin konsantrasyonlarının kök gelişimini baskıladığı ve kök dokularında incelmeye neden olduğu belirlenmiştir. Oleszek ve ark. (1998), *Medicago sativa* kaynaklı saponinlerin genç fide gelişimi üzerinde baskılayıcı etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Kariyawasam ve ark. (2023), saponin içeren uygulamaların bazı türlerde çimlenme ve kök gelişimini inhibe ettiğini rapor etmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular söz konusu araştırmalar ile paralellik göstermektedir.

Kök kalınlığındaki azalmanın temel nedenlerinden birinin hücre genişlemesinin baskılanması olduğu düşünülmektedir. Saponinlerin membran geçirgenliği üzerine etkileri nedeniyle su alımı ve hücre turgorunda değişiklikler oluşturabileceği bildirilmektedir. Bu durum özellikle genç kök dokularında gelişim geriliğine yol açabilmektedir. Wang ve ark. (2011), saponinlerin kök dokularında metabolik süreçler üzerinde etkili olduğunu ve özellikle genç kök dokularında gelişimsel değişikliklere neden olabileceğini bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen kök kalınlığı bulguları literatür ile uyum göstermektedir.

Tohum çimlenmesi sırasında imbibisyon, enzim aktivasyonu ve enerji metabolizması büyük önem taşımaktadır. Saponinlerin hücre membranı ile etkileşime girerek membran bütünlüğünü bozabilmesi, su alımı ve metabolik aktiviteyi sınırlandırabilmektedir. Bu durum çimlenme oranında ciddi düşüşlere yol açabilmektedir. Özellikle yüksek doz saponin uygulamalarının embriyo gelişimi ve su alımı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir. Marques ve ark. (2023), *Quillaja* saponinlerinin yüksek konsantrasyonlarda fitotoksik etki oluşturduğunu ve çimlenmeyi baskıladığını bildirmiştir. Kariyawasam ve ark. (2023) ise *Eucalyptus* den elde edilen saponin uygulamalarının bazı bitki türlerinde çimlenme oranını önemli düzeyde azaldığını ifade etmiştir. Bu çalışmadan elde edilen çimlenme oranı sonuçları ile araştırmalar benzerlik göstermektedir.

Çimlenme zamanındaki değişimler, tohum metabolizması ve su alımı ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle düşük doz uygulamalarda priming etkisinin erken çimlenmeyi teşvik ettiği, buna karşın yüksek saponin konsantrasyonlarının embriyo aktivitesini baskılayarak çimlenmeyi geciktirdiği düşünülmektedir. Elkoca (2007), priming uygulamalarının tohumlarda metabolik aktivasyonu hızlandırarak erken çimlenmeyi teşvik ettiğini bildirmiştir. Ancak bu çalışmada saponin konsantrasyonunun artması priming etkisini baskılamış görülmektedir.

Çimlenme indeksiindeki düşüşler, toplam çimlenme oranındaki azalma ve çimlenme hızındaki gerileme ile ilişkilidir. Özellikle yüksek saponin dozlarında düşük çimlenme performansı nedeniyle indeks değerleri düşmüştür. Ellis ve Roberts (1980), çimlenme indeksinin tohum vigorunun önemli göstergelerinden biri olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada saponin uygulamalarının vigor üzerinde baskılayıcı etki oluşturduğu görülmektedir.

Çimlenme enerjisindeki düşüş, tohumların erken dönemde çimlenme yeteneğinin zayıfladığını göstermektedir. Bu durum yüksek saponin konsantrasyonlarının embriyo canlılığı ve metabolik aktivite üzerinde baskılayıcı etki oluşturabileceğini düşündürmektedir. Nitekim erken dönemde çimlenme performansının düşmesi, tohum vigorunun azalması ile doğrudan ilişkilidir. Karagüzel ve ark. (2002), yüksek vigorlu tohumların daha yüksek



çimlenme enerjisine sahip olduğunu bildirmiştir. Boyraz ve ark. (2019), yüksek vigorlu tohumların daha hızlı ve homojen çimlenme gösterdiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada özellikle yüksek saponin dozlarının vigor kaybına neden olduğu değerlendirilmektedir.

Çimlenme hızındaki azalma, saponinlerin metabolik süreçleri baskılaması ile ilişkilendirilebilir. Özellikle su alımı, enzim aktivasyonu ve enerji üretim süreçlerinin olumsuz etkilenmesi çimlenmenin yavaşlamasına neden olmuş olabilir. Abazarian ve ark. (2011), stres koşullarının çimlenme hızını önemli ölçüde azaltabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada saponin uygulamalarının özellikle yüksek dozlarda stres faktörü gibi davrandığı değerlendirilmektedir.

G-50 parametresi çimlenme hızının önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Düşük G-50 değerleri daha hızlı çimlenmeyi ifade etmektedir. Ancak bu çalışmada düşük çimlenme oranları nedeniyle bazı uygulamalarda parametrenin biyolojik olarak sınırlı değerlendirme sunduğu düşünülmektedir.

Ellis ve Roberts (1980), ortalama çimlenme süresinin çimlenme senkronizasyonunun önemli göstergelerinden biri olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada düşük çimlenme oranı gösteren uygulamalarda ortalama çimlenme süresinin biyolojik olarak sınırlı yorumlanabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada yapılan hidropriming uygulaması, tohumun hızlı su alımı (imbibisyon) ve metabolik aktivasyon aşamalarını tetikleyerek çimlenme için gerekli enzimlerin sentezlenmesine olanak tanır. Elde ettiğimiz sonuçlarda hidropriming uygulamasının çimlenme süresini kısalttığı ve senkronizasyonu artırdığı (G-50 ve Çimlenme Gün Sayısı parametrelerindeki iyileşmeler) görülmektedir. Bu bulgu, *Salvia officinalis* tohumlarına uygulanan hidropriming işleminin nihai çimlenme yüzdesini (FGP) ve çimlenme indeksini (GI) Kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde artırdığını bildiren önceki araştırmalarla doğrudan örtüşmektedir (Dastanpoor vd., 2013; Elmasulu, 2025).

Temel bileşen analizinde, incelenen çimlenme parametrelerinin *S. officinalis* tohumlarında canlılık ve genel performansı belirlemede birbirleriyle yüksek oranda tutarlı belirteçler olduğunu kanıtlamaktadır. Optimum dozlardaki saponin uygulamalarının, hidropriming ile kombine edildiğinde tohum uyanmasını ve çimlenme senkronizasyonunu destekleyici fizyolojik bir etki yaratabildiğine işaret etmektedir. Buna karşın, artan saponin dozunun (%5) tüm çimlenme parametrelerini şiddetli bir biçimde baskılayarak modelde tamamen izole bir noktaya yerleşmesi, bu seviyedeki uygulamanın teşvik edici özelliğini yitirerek tohumlar üzerinde doğrudan fitotoksik ve inhibitör etki yaptığı açıkça ortaya koyulmuştur.

Sonuç

Araştırmada; farklı dozlarda uygulanan saponin ekstraktının *Salvia officinalis* tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, saponin konsantrasyonunun artması ile çimlenme performansının önemli ölçüde baskılandığı belirlenmiştir. Özellikle kontrol uygulamasının tüm parametrelerde en yüksek performansı göstermesi dikkat çekici bulunmuştur. Hidropriming uygulamasının dahi kontrol uygulamasının gerisinde kalması, adaçayı tohumlarının su alımına karşı hassas yapıda olabileceğini düşündürmektedir. Bunun yanında saponin uygulamalarının özellikle yüksek dozlarda belirgin fitotoksik etki oluşturduğu görülmüştür. En yüksek saponin konsantrasyonu (%5) belirli bir eşiği (%5) aştığında ise uyarıcı etki yerini toksik ve allelopatik bir baskılamaya bırakmaktadır. Elde edilen bulgular, saponinin düşük dozları da dahil olmak üzere denenen tüm konsantrasyonların kontrol grubuna kıyasla çimlenme yüzdesini, kök uzunluğunu ve fide gelişimini şiddetli derecede baskıladığını göstermiştir. Bulgularımızda kontrole göre herhangi bir teşvik edici (stimülör) etki saptanmadığından, saponin ekstraktının bu tohumlar üzerinde bimodal bir hormesis etkisinden ziyade, doz bağımlı doğrusal bir fitotoksik ve inhibitör etki mekanizmasına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Saponinlerin özellikle kök morfolojisi ve meristemik aktivite üzerindeki bu güçlü inhibisyon potansiyeli, onların doğal bitki koruma preparatları ve biyo-herbisit geliştirme çalışmalarında değerlendirilebileceğini göstermektedir (Wagner ve ark., 2021).

Bu çalışmanın en önemli bulgusu, saponin uygulamalarının yalnızca çimlenme oranını değil, çimlenme sisteminin tamamını doz-bağımlı şekilde baskıladığını ortaya koymasındır. Artan saponin konsantrasyonları ile birlikte kök uzunluğu, kök kalınlığı, çimlenme hızı, ilk yedi gün çimlenme performansı ve genel vigor parametrelerinde belirgin düşüşler meydana gelmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli yönü ise saponinlerin doğal kaynaklı çimlenme düzenleyici veya biyolojik baskılayıcı ajan potansiyeline ilişkin veri sunmasıdır. Günümüzde sentetik herbisit kullanımının çevresel etkileri ve direnç problemleri nedeniyle doğal bileşiklerin allelopatik ve fitotoksik etkileri büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada özellikle yüksek saponin dozlarının çimlenmeyi tamamen inhibe etmesi, saponinlerin doğal biyolojik herbisit veya büyüme düzenleyici adayları olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte farklı bitki türleri, farklı saponin kaynakları ve daha düşük konsantrasyonlar ile yapılacak ileri çalışmaların konuya önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.



Kaynaklar

- Abazarian, R., Yazdani, M. R., Khosroyar, K., & Arvin, P. (2011). Effects of different levels of salinity on germination of four components of lentil cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, 6(5), 2761–2766. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.835>
- Abdani Nasiri, A., Mortazaeinezhad, F., Taheri, R. (2018). Seed germination of medicinal sage is affected by gibberellic acid, magnetic field and laser irradiation. *Electromagn Biol Med*, 37(1):50-56. <https://doi.org/10.1080/15368378.2017.1336100>
- Aytekin, A., ve ark. (2021). Farklı yetiştirme ortamlarının adaçayında (*Salvia officinalis* L.) tohum çimlenmesi ve fide kalitesi üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 26 (3):610-616.
- Barupal, S., Sharma, R., Kumar, M., Dilta, B. S., Sarma, C. L., Verma, R., & Singh, A. K. (2022). Seed priming: A effective method for enhancing seed quality and plant stand establishment in okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(2), 1359-1364.
- Başaran, U., Mut, H., Gülümser, E. ve Doğrusöz, M. Ç. (2019). Using smoke solutions in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) to improve germination and seedling growth and reduce toxic compound ODAP. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry*, 1809-66.
- Boyras, M., Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2019). Tohumda dormansi ve çimlenme. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(3), 92–105. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/680694>
- Bradbeer, J. W. (1988). *Seed Dormancy and Germination*. ISBN 978-0-216-91636-4 ISBN 978-1-4684-7747-4 (eBook), DOI 10.1007/978-1-4684-7747-4
- Çopur Doğrusöz, M., Başaran, U., Mut, H. ve Gülümser, E. (2022). Germination characteristics and seedling development of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) in different priming application. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 437-447. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6962183>
- Dastanpoor, N., Fahimi, H., Shariati, M., Davazdahemami, S., & Modarres Hashemi, S. M. (2013). Effects of hydropriming on seed germination and seedling growth in sage (*Salvia officinalis* L.). *African Journal of Biotechnology*, 12(11), 1223-1228. DOI: 10.5897/AJB12.1941
- Elkoca, E. (2007). Priming: ekim öncesi tohum uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1), 113–120. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/34143>
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Towards a rational basis for testing seed quality. In *Seed Production* (ed. P.D. Hebblethwaite), pp. 605–635. Butterworths, London.
- Elmasulu, S. (2025). Effect of priming treatments on germination performance of medicinal sage (*Salvia officinalis* L.) seeds. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 9(4), 1094-1105. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17885705>
- Erkul, Ş. N. ve Ülger, N. (2024). Tohumlarda çimlenmeye etkili faktörler ve tohum çimlendirme uygulamaları. *AgriTR Science*, 6(1), 71-86. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agritrscience/article/1540328>
- Fu, Y., Ma, L., Li, J., Hou, D., Zeng, B., Zhang, L., Liu, C., Bi, Q., Tan, J., Yu, X., Bi, J. ve Luo, L. (2024). Factors influencing seed dormancy and germination and advances in seed priming technology. *Plants*, 13(10), 1319. <https://doi.org/10.3390/plants13101319>
- Jatana, B. S., Grover, S., Ram, H., & Baath, G. S. (2024). Seed priming: Molecular and physiological mechanisms underlying biotic and abiotic stress tolerance. *Agronomy*, 14(12), 2901. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2901>
- Jisha, K. C., Vijayakumari, K. ve Puthur, J. T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(5), 1381–1396. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>
- Karagüzel, Ö., Cakmakci, S., Ortacesme, V., & Aydinoglu, B. (2004). Influence of seed coat treatments on germination and early seedling growth of *Lupinus varius* L. *Pakistan Journal of Botany*, 34(1), 33–38.
- Karakurt, H., Aslantaş, R., & Eşitken, A. (2010). Tohum Çimlenmesi ve Bitki Büyümesi Üzerinde Etkili Olan Çevresel Faktörler ve Bazı Ön Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 115-128. <https://izlik.org/JA36MB38AU>
- Kariyawasam, T., Doran, G. S., Prenzler, P. D., Howitt, J. A., & Stodart, B. (2023). Effect of eucalyptus saponin and sophorolipid amendment on soil and sediment microbial communities and seed germination: Potential application for PAH bioremediation. *Journal of Soils and Sediments*, 23, 2544–2555. DOI: 10.1007/s11368-023-03499-7
- Mardani Korrani, F., Amooaghaie, R., Ahadi, A. (2023). He-Ne Laser Enhances Seed Germination and Salt Acclimation in *Salvia officinalis* Seedlings in a Manner Dependent on Phytochrome and H₂O₂ Protoplasma. 260(1):103-116. <https://doi.org/10.1007/s00709-022-01762-1>
- Marques, M. E. M., de Carvalho, A. C., Yendo, A. C. A., Magedans, Y. V. S., Zachert, E., & Fett-Neto, A. G. (2023). Phytotoxicity of *Quillaja lancifolia* Leaf Saponins and Their Bioherbicide Potential. *Plants* (Basel, Switzerland), 12(3), 663. <https://doi.org/10.3390/plants12030663>
- Mayer, A.M., Poljakoff-Mayber, A. (1982). *The Germination of Seeds*. Pergamon Press. p210. ISBN 0-08-028854-5, ISBN 0-08-028853-7.
- Mutetwa, M., Chaibva, P., Chagonda, I., Makuvaro, V., Mtaita, T., Ngezimana, W., Masaka, J. ve Manjeru, P. (2023). Hydropriming improves seed germination in horned melon (*Cucumis metuliferus* E. Mey. Ex Naudin) landraces. *EUREKA: Life Sciences*, (6), 3-12. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.003038>
- Nile, S. H., Thiruvengadam, M., Wang, Y., Samynathan, R., Shariati, M. A., Rebezov, M., Nile, A., Sun, M., Venkidasamy, B., Xiao, J. ve Kai, G. (2022). Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture—recent developments and future perspectives. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 254. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01423-8>
- Oleszek, W., Jurzysta, M., Ploszynski, M., Colquhoun, I. J., Price, K. R., & Fenwick, G. R. (1998). Composition and quantitation of saponins in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(3), 960–962. DOI: 10.1021/jf9704528



- Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24(6), 1192–1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>
- Sharaf, Z., Habibi, N., Fakhri, A. Faqiri, S. M. (2026). Seed priming to induce seed germination, seedling growth and enzymatic activity in watermelon. *Sci Nat* 113, 43 (2026). <https://doi.org/10.1007/s00114-026-02100-8>
- Sharifi-Rad, M., Ozcelik, B., Altun, G., Daşkaya-Dikmen, C., Martorell, M., Ramírez-Alarcón, K., et al. (2018). *Salvia* spp. plants—from farm to food applications and phytopharmacotherapy. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 242–263. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.08.008
- Stoian, V. A., Gâdea, Ş., Vidican, R., Balint, C., Stoian, V., Vâtcă, A., Truşcă, M., Horvat, M., Brozović, B., Camen, D. ve Vâtcă, S. D. (2024). Seed priming methods tested on *Salvia officinalis* L. germination according to BBCH scale. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(2), Makale 13676. <https://doi.org/10.15835/nbha52213676>
- Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24(6), 1199–1204. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>
- Sushma, M. K., Yadav, S. K., Yadav, S., Choudhary, R., Anbalagan, A., Navya, K. ve Kaushal, K. (2024). Hydro-priming as a sustainable approach for improving germination and seedling growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Seed Research*, 51(1), 11–17. <https://doi.org/10.56093/sr.v51i1.154654>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2024). Adaçayında (*Salvia* Spp.) Pyrrolizidine Alkaloid Kontaminasyonunun Önlenmesi ve Azaltılması Uygulama Kılavuzu. https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Sagligi/Ada%C3%A7ayi_Pyrrolizidine_Alkoloid_Kilavuzu.pdf
- TÜİK (2026). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Wagner, A. L. S., Araniti, F., Bruno, L., Ishii-Iwamoto, E. L., & Abenavoli, M. R. (2021). The steroid saponin protodioscin modulates *Arabidopsis thaliana* root morphology altering auxin homeostasis, transport and distribution. *Plants*, 10(8), 1600.
- Wang, B. C., Duan, C., Liu, W., Chen, J., Lian, J. ve Zhao, H. (2004). Effect of chemical and physical factors to improve the germination rate of *Echinacea angustifolia* seeds. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 37(3-4), 101–105.
- Wang, D., Zhu, H., Chen, K., Xu, M., Zhang, Y., & Yang, C. (2011). Saponin accumulation in the seedling root of *Panax notoginseng*. *Chinese Medicine*, 6(5). DOI: 10.1186/1749-8546-6-5
- Will, M., & Classen-Bockhoff, R. (2017). Time to split *Salvia* s.l. (Lamiaceae)- New insights from Old World *Salvia* phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 33–58. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.041>
- Xiao, M.-Y., Li, S., Pei, W.-J., Gu, Y.-L., & Piao, X.-L. (2025). Natural saponins on cholesterol-related diseases: Treatment and mechanism. *Phytotherapy Research*, 39(3), 1292–1318. DOI: 10.1002/ptr.8432

