



Tohumlarda çimlenmeye etkili faktörler ve tohum çimlendirme uygulamaları

Şeyda Nur Erkul^{1*}  Nur Ülger² 

Geliş Tarihi: 08.06.2023 / Kabul Tarihi: 14.02.2024

Öz: Bitki üretiminde tohumun çimlenmesi kritik bir evredir. Tohumun çimlenmesi, embriyonun uygun şartlarda yeni bir bitki oluşturmak için tohum kabuğunu yarıp dışarı çıkması ve gelişmesi şeklinde ifade edilir. Tohumun çimlenmesinde hem genetik hem de çevresel faktörler etkilidir. Çevresel faktörlerden en önemlileri; su, sıcaklık, oksijen ve ışıktır. Bu faktörlerin tohumun bulunduğu ortamda uygun seviyelerde bulunması gerekir. Optimum koşullar oluşmadığında tohumun çimlenme yeteneği ve hızı düşer veya çimlenme olmaz. Tohumun çimlenmesi esnasında su alması embriyo hücrelerindeki enzimleri aktive eder ve gibberellin hormonu üretimini tetikler. Gibberellin ortamdaki absisik asidin etkisini kaldırır ve amilaz enziminin çalışmasını sağlar. Sıcaklık tohumun metabolizma hızını ve su alımını etkiler. Birçok bitki tohumu belirli sıcaklık aralığında çimlenir. Oksijen ise tohumun solunum yaparak enerji üretmesi için gereklidir. Oksijen eksikliği halinde tohumda fermente solunum olur ve etanol birikimi meydana gelir, bu durumda tohumun ölümüne sebep olur. Işık bazı bitkilerin tohumlarının çimlenmesinde önemli rol oynar. Bazı bitkilerin tohumları sadece ışıktadır, bazıları sadece karanlıkta çimlenirken, bazılarının çimlenme için ışığa tepkisi yoktur. Tohumda yapılan uygulamaların en temel amacı dormansiyi kırmak ve tohumun çimlenme kabiliyetini artırmaktır. Dormansi, uygun koşullarda dahi tohumun çimlenmemesi hali tohumun kötü koşullarda yaşayabilmesini sağlayan bir uyum mekanizmasıdır. Dormansi kırılması için farklı yöntemler uygulanabilir. Bunlar arasında priming uygulamaları, gibberellin uygulaması, soğuk veya sıcak şok gibi fiziksel veya kimyasal yöntemler bulunur. Yapmış olduğumuz bu çalışmada tohumun çimlenmesi üzerine etki eden çevresel faktörler incelenmiş olup günümüze kadar yapılmış olan çalışmalardan elde edilen bilgiler derleme olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çimlenme, çevresel faktörler, dormansi, priming, tohum uygulamaları

Factors affecting germination in seeds and seed germination practices

Abstract: Seed germination is a critical stage in plant production. Germination refers to the process in which the embryo breaks through the seed coat and develops into a new plant under suitable conditions. Both genetic and environmental factors influence seed germination. The most important environmental factors are water, temperature, oxygen, and light, which must be present at suitable levels in the environment where the seed is located. When optimal conditions are not met, the seed's germination ability and speed decrease or no germination occurs. During seed germination, water uptake activates enzymes in the embryo cells and triggers gibberellin hormone production. Gibberellin removes the effect of abscisic acid in the environment and allows amylase enzyme to work. Temperature affects the seed's metabolism rate and water uptake. Many plant seeds germinate within a certain temperature range. Oxygen is necessary for the seed to respire and produce energy. In the absence of oxygen, the seed undergoes fermentative respiration and accumulates ethanol, which leads to its death. Light plays an important role in the germination of some plant seeds. Some seeds germinate only in light, some only in darkness, while others do not respond to light for germination. Light also affects the onset and cessation of dormancy. The main purpose of treatments applied to seeds is to break dormancy and increase their germination ability. Dormancy is an adaptation mechanism that allows seeds to survive under adverse conditions, even when suitable conditions are present for germination. Factors that cause dormancy are generally related to the seed coat or embryo. Seed coat dormancy is seen as a restriction on water and gas exchange or as a mechanical barrier to embryo growth. Embryo dormancy is seen as insufficient embryonic development or accumulation of suppressive substances such as abscisic acid in embryonic tissues. Various methods can be applied to break dormancy, including priming treatments, gibberellin application, physical or chemical methods such as cold or heat shock. In this study, environmental factors affecting seed germination were examined, and information obtained from previous studies was compiled as a review.

¹ Multi Tohum Tarım San. Tic. A.Ş., Antalya/Türkiye

² Multi Tohum Tarım San. Tic. A.Ş., Antalya/Türkiye

*Sorumlu yazar: snurerkul@multitohum.com

Cite/Atıf:	Copyright © 2024 by AgriTR Science.
Erkul, Ş.N., Ülger, N. (2024). Tohumlarda çimlenmeye etkili faktörler ve tohum çimlendirme uygulamaları. <i>AgriTR Science</i> , 2024, 6(1): 71-86.	This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.



Keywords: Germination, environmental factors, dormancy, priming, seed treatments

Giriş

Çimlenme, tohum kabuğunun içinde embriyonun olgunlaşmaya başladığı ilk aşama olarak tanımlanmaktadır (Kavut, 2019). Çimlenmenin gözlemlenebilen belirtisi ise tohum kabuğunun çatlaması ve buna bağlı olarak radisil gelişiminin devam etmesi olarak tanımlanmaktadır (Kavut, 2019). Yapılmış olan bir araştırmada; tohumların suyla muamele edilmesiyle birlikte giberellin hormonu, tohumun embriyosunu kaplayan kısımların parçalanmasına neden olan enzimlerin salgılanmasını sağlayarak embriyonun gelişimini sağladığı belirtilmiştir (Yamaguchi ve Kamiya, 2002). Bir tohumun çimlenmesinde ilk olarak tohum olgunluğu, ikinci derecede çevre faktörleri ve üçüncü derecede de dormansi gibi bazı özel faktörler etkili olmaktadır (Er ve Başalma, 2014). Tohumda çimlenme, tohumun uyku halinden çıkarak yeni bir bitki oluşturmak üzere gelişmeye başlamasıdır. Tohumda çimlenme, bitkilerin yaşam döngüsünün önemli bir aşamasıdır ve bitki çeşitliliği, ekoloji ve tarım açısından büyük önem taşır. Tohumda çimlenmenin gerçekleşmesi için çeşitli faktörlerin uygun olması gerekir. Bu faktörler tohumun kendisi, çevresel koşullar ve biyolojik etmenlerdir.

Tohumlar, bitki üreme ve ekosistemlerde türlerin sürdürülmesinde önemli bir rol oynar. Tohum çimlenmesi, bitki üreme sürecinde temel adımı oluşturur ve çimlenme ve tohum organizasyonunun fizyolojik yönlerini araştırmanın önemini vurgular (El-Maarouf-Bouteau, 2022).

Tohum çimlenmesi, birçok bitkinin temel yaşam döngüleri içinde en önemli gelişim dönemi olup bitkinin tüm gelişim dönemlerini etkilemektedir (Al-Ansari ve Ksiksi, 2016). Çimlenmesi iyi olan tohumların, mahsul verimi ve kök gelişimi de o ölçüde iyi olmaktadır (Al-Ansari ve Ksiksi, 2016).

Yavaş çimlenme oranları bitkileri sıklıkla olumsuz çevre koşullarına ve toprak kaynaklı hastalıklara maruz bıraktığından, hızlı ve üniform fide çıkışını sağlamak, ürün performansı için oldukça önemli olmaktadır (Osburn ve Schroth, 1989). Tohumun çimlenmesi için embriyonun canlı ve çimlenme yeteneğinde olması, tohumun uygun çevre şartları içinde bulunması ve çimlenmeyi engelleyen iç etmenlerin ortadan kalkmış olması gerekir. Tohumun çimlenmesinde en önemli faktörler; su, sıcaklık, oksijen ve ışıktır. Su; tohumun şişmesini, enzimlerin aktif hale gelmesini ve metabolik aktivitenin başlamasını sağlar. Sıcaklık, enzimlerin çalışma hızını ve solunum oranını etkiler. Oksijen, solunum için gerekli olan gazdır. Işık, bazı bitki tohumlarının çimlenmesini tetikleyen veya engelleyen bir faktördür.

Birçok bitki türlerinde çimlenme koşulları uygun olmasına rağmen tohumda çimlenme başlamamaktadır (Çetinbaş ve Koyuncu, 2005; Demirkaya, 2006). Tohumun çimlenmeye karşı gösterdiği direnç dormansi denir ve özellikle kayısı, badem, erik, şeftali, kiraz gibi sert çekirdekli meyve tohumlarında görülmektedir (Çetinbaş ve Koyuncu, 2005; Demirkaya, 2006). Dormansiye girmiş olan tohumlar belirli bir süreliğine uyku halinde bulunmaya gerek duymaktadır (Mayer ve Poljakoff-Mayber, 1989; Gemici, 2019). Çimlenmenin görülmediği dormansi durumunda, çimlenmeyi başlatmak için giberellin, ön üşütme, asitle muamele, kinetin, gibi maddelerle ilgili uygulamalar yapılarak tohumda dormansinin kırılması sağlanabilmektedir (Kavut vd., 2017).

Bu makalede, geçmişten günümüze kadar yapılan tohumda çimlenme uygulamaları araştırılarak, bulgular harmanlanarak derleme çalışması yapılmıştır.

Tohum Çimlenmesini Etkileyen Çevresel Faktörler

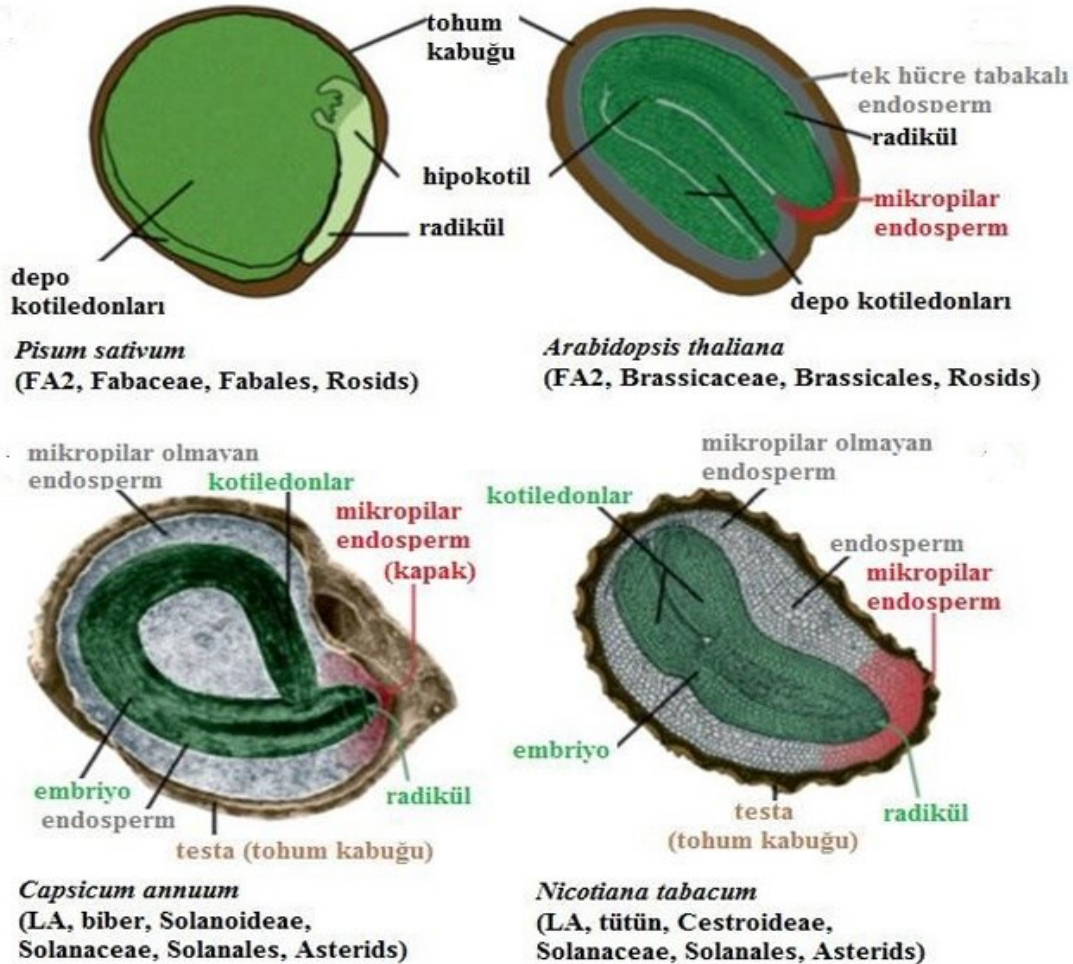
Fizyolojik Olgunluk: Tohumların üretiminde özellikle hasat zamanının belirlenmesinde tohumların olgunluk durumları çok önemlidir. Tohum olgunluğu meyve gelişimi ve ön çimlendirme testleriyle gözlemlenerek en doğru hasat tarihine karar verilmektedir.

Tohumların çimlenebilmesi için birçok aşamadan geçerek olgunlaşması gerekmektedir (Miransari ve Smith, 2009). Tohumda bulunan besin maddeleri, spesifik enzimler ve bunların aktivitesi tohumun embriyosunu geliştiren nişasta, protein ve lipid gibi besin maddeleri oluşturmaktadır (Miransari ve Smith, 2009).

Fizyolojik olgunluk, tohumların fizyolojik olarak maksimum çimlenme potansiyeline sahip olduğu zamanı belirten bir tanımdır. Bu zamanın belirlenmesi amacıyla tohumun gözlemlenmesi tohumluk üretim alanlarında hasat için en uygun zaman olarak belirlenebilmektedir (Leishman, 2001).

Tohum olgunlaşması; hücre döngüsünün engellenmesine, absisik asit (ABA) seviyelerinin artmasına, tohum neminin azalmasına, depolama rezervuarlarının üretilmesine ve uyku halinin oluşmasına neden olur (Matilla ve Matila-Vazquez, 2008). Tohumlar, tohum olgunlaşması sırasında, özellikle tohum olgunlaşmasının orta ve geç aşamalarında, tohumlar daha fazla miktarda azot emdiğinde, miktarları artan globulinler ve prolaminler gibi protein depoları içerir (Miransari ve Smith, 2014).

Tohumlarda olgunlaşma, çimlenmeyi etkileyen ve tohum kalitesine etki eden faktörlerin başında olmasının yanı sıra hasat öncesi bitkinin gelişimi, hasat donemi ve hasat sonrası enfeksiyon durumu da çimlenmeyi doğrudan etkilemektedir (Miransari ve Smith, 2014). Ayrıca tohumlar hasat edilirken dikkatli olunması ve hasat sırasındaki oluşabilecek fiziksel yaralanmaları göz önünde bulundurarak, hasat sonrası ise depolama şartlarına (tohum nemi, depo sıcaklığı, oksijen) dikkat edilerek tohumların çimlenmesi kontrol edilebilmektedir (Miransari ve Smith, 2014). Tohumda olgunlaşma aşamaları Finch-Savage ve Leubner-Metzger (2006) tarafından araştırılmış ve şekil üzerinde belirtilmiştir (Şekil 1). Çimlenmenin başlayabilmesi için birçok etken içinde su, sıcaklık, oksijen ve ışık en önemli faktörlerdendir (Raven, Evert ve Eichhorn, 2005).



Şekil 1. Angiosperm tohumunun olgunlaşma aşamaları (Finch-Savage ve Leubner-Metzger, 2006; Boyraz vd., 2019).

Su: Çimlenmenin başlaması için tohumların suyla şişmesi ve optimum seviyede suyla doymuş hale gelmesi gerekmektedir. Tohum çevresinde tohumun kullanabileceği su bulunması durumunda, tohum kabuğu da suyu geçirirse tohum suyu olarak şişmeye başlamaktadır (İlbi ve Gemici, 2005). Yapılan çalışmalarda, birçok bitki türü için uzun süren kuraklık durumlarında bitkilerin susuz kalması ve ortamın

suyunun yeterli seviyede olmaması durumunda tohum boyutunda azalma olduğu belirtilmiştir (Bareke, 2018). Çiçeklenme sırasında su eksikliği meydana gelirse, birincil etkisi tohum sayısının azalmasıdır (Copeland, 2001).

Sıcaklık: Sıcaklığın tohum çimlenmesinin en önemli faktörlerinden biri olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Acosta vd., 2022). Ilıman iklime sahip bölgelerde özellikle domates, biber ve patlıcan gibi sebze tohumlarında optimum çimlenme 24-30°C sıcaklıkta meydana gelerek, çeşitlere göre 4.5-40°C geniş sıcaklık aralığında çimlenebilme yeteneği göstermektedir (Karakurt vd., 2010). Acosta ve ark. (2022), sebze tohumlarının çimlenebilmeleri için gerekli olan en uygun sıcaklığın 14 ve 20°C arasında olduğunu, daha yüksek sıcaklıkların kademeli olarak tohumu tahrip ettiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca sıcaklığın 28°C'yi geçtiğinde çimlenmenin neredeyse durduğunu ancak sıcaklığın tekrar 20°C'ye düşürüldükten sonra çimlenmenin tekrar başlayabileceğini ve buna etki eden faktörün termoinhibisyon olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklıklar daha küçük tohum oluşumuna neden olmaktadır. Daha düşük sıcaklıklar ise, tohumun büyümesini geciktirmektedir (Bareke, 2018). Tohum çimlenmesi ve gücü de tohumun gelişimi sırasında düşük sıcaklıklarda olumsuz etkilemektedir (Bareke, 2018).

Oksijen: Çimlenmenin gerçekleşebilmesi için mutlaka olması gereken oksijen; sıcaklık, su ve ışık gibi çevresel faktörlere bağlıdır (Corbineau vd.,1995). Tohumun çimlenmesi sırasında ortam ile embriyo arasındaki gaz geçişi uniform çimlenme için oldukça önemlidir (Karakurt vd., 2010). Oksijen çimlenme aşamalarında bitki solunum yaparken kullanılmaktadır (Karakurt vd., 2010). Solunum için gerekli olan oksijenin, tohumun çimlenmesi için gerekliliği bitkinin türüne, fizyolojik dinlenme derinliğine ve ortamın sıcaklığına bağlıdır (Bradford vd., 2007; Benech-Arnold vd., 2008).

Birçok bitki türü için, tohumlar oksijen bulunmadığında çimlenemez ya da yeterli seviyede oksijen bulunmadığı durumlarda fidelerin büyümesi engellenmektedir (Corbineau, 2022). Ek olarak, çimlenme ortamında fazla miktarda su bulunması oksijen birikimini sınırlandırmaktadır (Hartmann vd., 1990).

Işık: Işığın tohumda çimlenme üzerine etkisi, sahip olduğu spektrumu ile ilişkilidir (Springthorpe ve Penfield, 2015). Mavi ışık, ABA'yı aktive ederek tohumun çimlenmesini geciktirirken, kırmızı ışık, giberellik asit (GA) biyosentezinin aktivasyonu ve ABA üretimini kısıtlayarak tohum çimlenmesinin başlamasında ve dormansinin kırılmasında önemli rol oynamaktadır (Jiang vd., 2021). Yapılan araştırmalara göre, tohumların çimlenmesi ve bitkilerin büyüerek gelişmesi için gerekli olan bazı fotoreseptörler, yeşil dokularda bulunan fitokrom B proteinleri (Quil, 1997), oksin ve sitokin hormonları gibi faktörleri doğrudan etkileyebilmektedir (Tian vd., 2002; Fankhauser, 2002; Choi vd., 2005). Tohumlardaki fitokromlar, tohumların ışığa maruz bırakıldığında gelişim aşamalarını etkileyerek tohum çimlenmesini yönetmektedir ve aynı zamanda ışık, bitkilerde hormonal faaliyetlerin sürdürülmesi ile birlikte fitokromları da aktive etmektedir (Seo vd., 2009). Işığın çimlenmeye etkisinde kırmızı ve kızıl ötesi ışınların bazı bitkilerin tohumlarında (Marul ve Arabidopsis) GA biyosentezini artırarak çimlenmeye etki ettiği belirtilmiştir (Georghiou vd., 1982; Yamaguchi ve Kamiya, 2002). Aynı şekilde yapılan çalışmalar göstermiştir ki, öncelikle suda belirli bir süre bekletilen tohumlar kırmızı ışığa maruz bırakıldıklarında çimlenme oranlarında artış meydana gelmekte, kızıl ötesi ışığa maruz kalan tohumlarda ise engelleyici etki olduğu gözlemlenmiştir (Hartmann vd., 1990).

Güneş radyasyonunun mevsimsel dağılımı, bitki gelişimi için mutlak bulunması gereken faktördür. Genellikle bitkilerin alması gereken ışığın azalması sonucunda tohumların daha küçük olduğu gözlemlenmiştir (Copeland 2001). Tohumlar direk toprağa ekildiklerinde, gelen ışığın sinyalinin kalitesine göre toprağın yüzeyine yeterince yakın olup olmadıklarına karar verebilmektedir (Ballaré vd., 1992; Batlla ve Benech-Arnold, 2014). Eğer ekim sırasında tohumlar çok derine gömülürse, çimlenme olumsuz etkilenir ve fotosentez yapması gereken bitkiler toprağın yüzeyine ulaşamaz (Ballaré vd., 1992; Batlla ve Benech-Arnold, 2014). Bu durum sonucunda tohumda sağlıklı çimlenme ve bitki gelişimi gözlemlenmemektedir.

Depolama Süresi ve Sıcaklığı: Tohumların depolanma sıcaklığı, kısmen yüksek sıcaklıkta veya uygun olmayan depolama koşullarında uzun bir süre bekletilen tohumlar bozulmaya başladıkları için tohumda

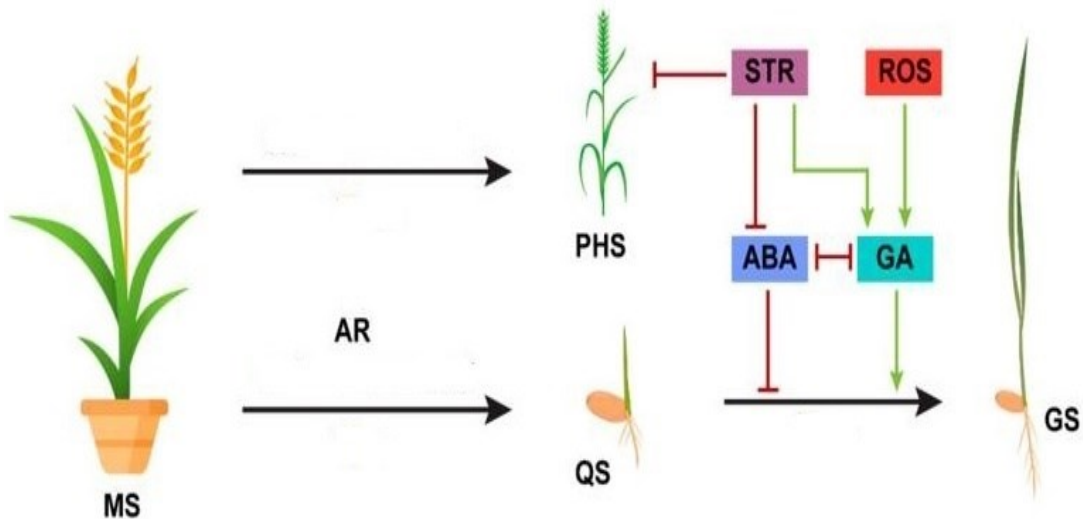
depolama en önemli çevresel faktörlerden biridir (Negash, 2003). Zor çimlenen ve raf ömrü kısa olan tohumlar hasattan sonra 1 yıla yakın canlılığını koruyabilmektedir (Hill vd., 2005). Ancak tohumlar depolama şartlarına uygun şekilde depolanırsa, dört ila beş yıla kadar canlılığını koruyabilmektedir (Merhar vd., 2003). Tohumların depolamasında uygun olmayan koşullar sıcak, nemli iklimlerde bulunurken; en iyi depolama ortamı kuru, düşük depolama sıcaklığına sahip ve depo neminin kontrol altında olduğu depolardır (Merhar vd., 2003). Geç çimlenen tohumlarda raf ömrünün kısa olmasının en önemli sebebi düşük neme karşı hassas olmalarıdır ve tohumlar nem içeriği %30'un altına düştüğünde canlılıklarını kaybedebilmektedir (Negash, 1995). Tohumların uzun süreli olarak canlılığını korumak, genetik bütünlüğü sürdürmek ve fidanın çıkışında gecikmeleri önlemek son derece önemlidir. Bu durum, düzensiz fidan çıkışına ve popülasyon bakımında zorluklara neden olabilir (Shelar vd., 2022).

Tohumda Dormansi: Tohumda uyku hali (dormansi), tohumların çimlenebilmeleri için gereken en uygun koşulları beklemesi için çimlenmelerinin engellenmesi durumudur (Finkelstein vd., 2008). Dormansiden çıkan tohumun çimlenme aşamaları, öncelikle bünyesine su almasıyla başlar ve embriyonun şişerek gelişmesi sonucunda radisilinin oluşması ile sonuçlanır (Wang vd., 2020).

Tohumların çimlenebilmesi için şartlar uygun olsa da bazı durumlarda çimlenme gözlemlenmemesi canlı bir tohumun hareketsiz hali olarak tanımlanarak tohum uyku hali denilmektedir (Bewley, 1997; Finch -Savage ve Leubner-Metzger, 2006; Bentsink ve Koornneef, 2008). ABA, tohumun uyku halinin sonlandırılması için uyarılmasında ve çimlenmenin kontrolünde etkili olan baskın bir hormondur (Gubler vd., 2005; Finkelstein vd. 2008; Yan ve Chen, 2017).

Tohum fizyolojik olgunlaşma aşamalarında bünyesinde kademeli olarak ABA birikmektedir ve bu durum sonucunda ön çimlenmenin engellenmesi ve tohum uyku halinin sürdürülmesine neden olmaktadır (Koornneef vd., 2002; Finkelstein, 2010). Tohumda ABA seviyelerinin azalması, tohum çimlenmesinin başlamasını sağlamaktadır (Weitbrecht vd., 2011).

Mevsimsel değişikliklerden dolayı özellikle ilkbaharın gelmesiyle artan toprak sıcaklığı ile, bitkilerde ABA seviyelerinde azalma ve ABA katabolizma genlerinin ve GA sentez genlerinin gelişimindeki artışla birlikte dormansi seviyesi düşebilmektedir (Finch-Savage ve Footitt, 2017). Tohumun çimlenmeye başladığı andan itibaren meydana gelen hormonal değişiklikler şekil üzerinde görülebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Dışsal ve içsel faktörlerin tohum dinlenmesi ve çimlenmesi üzerindeki etkilerini gözlemlemek üzere; tohumun (MS) olgunlaşması sırasında, içsel ABA yukarı doğru artmakta ve ana bitki üzerinde hasat öncesi filizlenmeyi (PHS) engellemek için GA aşağı doğru azalmaktadır. Hasattan sonra tabakalaşma (STR) ve reaktif oksijen türleri (ROS), GA biyosentezini artırmakta ve ABA biyosentezini baskılayarak hareketsiz tohumu (QS) çimlenmekte olan bir tohuma (GS) dönüştürmektedir. Kırmızı çubuklar bir engelleme etkisi gösterirken, yeşil oklar yükseltme etkisini gösterir (Farooq vd., 2020).

Tohumların üretimindeki olumsuz koşulların çimlenme gücü, çimlenme hızı ve depolama üzerine etkisini azaltmak, fide çıkış hızını artırmak ve homojen bir fide çıkışı sağlamak amacıyla çeşitli ekim öncesi tohum uygulamaları yapılmaktadır. Tohumun dormansisini kırmak için çeşitli ön işleme yöntemleri ve süreçleri kullanılmaktadır, bunlar arasında sıcaklık, ışık, hormonlar ve enzimler bulunmaktadır (Rahimi vd., 2022). Tohumlarda dormansi ya da farklı sebeplerle çimlenmenin azaldığı durumlarda, çimlenme gücünü ve çeşitli çevresel faktörlere dayanımını artırmak için "Priming", "Ön Uygulama" ya da "Tohum uygulamaları" adı verilen çeşitli uygulamalar yapılmaktadır (Kaya, 2008). Tohumda priming uygulamalarının etkisinin yüksek olması, yapılan uygulama yönteminin türüne, tohumun canlılık durumuna, bitki türleri, genotipi ve fizyolojisi ile doğrudan ilişkilidir (Parera ve Cantliffe, 1994).

Tohumda Çimlendirme Uygulamaları

Tohumların çimlenmesini etkileyen ve düzenleyen birçok mekanizma bulunmaktadır. Günümüze kadar yapılan tohumda çimlenme ile ilgili araştırmalar birçok konuya ışık tutmaktadır. Arın vd. (2019), yapmış oldukları araştırmada tohumda çimlenmenin başlaması için dormansinin gerekli olmadığını vurgulamışlardır. Ancak çimlenme koşullarının optimum seviyeye getirilmesiyle dormansinin ortadan kalkacağını belirtmişlerdir. Tohumların çimlenmesini artırmak için ekim öncesi uygulamalar olan priming teknikleri kullanılabilir. Priming, tohumların kontrollü bir şekilde su alarak metabolik aktiviteyi başlatması ve kök çıkışına izin vermemesi işlemidir.

Tohum çimlenmesini iyileştirmek ve bitki verimini artırmak için en uygun tekniklerden biri olan tohum çimlenme öncesi işlemler, tohumların fizyolojik olarak geliştirilmesini içerir ve kontrollü koşullar altında su veya diğer öncesi işlem maddelerinde bekletilerek ön çimlenme metabolizmasının başlatılmasını sağlar (Rakshit ve Singh, 2018; Kırca ve Aygün, 2018).

Mayer ve Poljakoff-Mayber (1989), yaptıkları araştırmada bazı bitki tohumlarında görülen dormansinin kaldırılması için priming uygulaması olarak GA ve potasyum nitrat (KNO₃) uygulamalarının etkili olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırma sonuçlarına göre 500-1000 ppm GA doz ile yapılan uygulamaların, %0.2'lik KNO₃ uygulamalarının genellikle tohumlarda çimlenmeyi artırdığı belirtilmiştir (Mayer ve Poljakoff-Mayber, 1989).

Priming, tohumların çimlenme öncesi metabolizmasını tetikleyen ancak tam çimlenmeye geçişlerini engellemeyen, kontrollü tohum rehidrasyonu tekniğidir (Heydecker, 1973; Paparella, 2015). Bu su bazlı teknik, eşzamanlı ve hızlı çimlenmeyi sağlarken; foto ve termo-dormansiyi azaltır, daha geniş bir sıcaklık aralığında çimlenmeyi mümkün kılar ve yabancı otlar ve patojenlerle daha iyi rekabet edebilme yeteneği kazandırır (Ellis vd., 1988; Hill vd., 2008; Paparella, 2015).

Priming, özellikle havuç (*Daucus carota L.*), pırasa ve soğan (*Genus Allium*), kereviz (*Apium graveolens L.*), marul (*Lactuca sativa L.*), hindiba (*Cichorium endivia L.*), biber (*Genus Capsicum*) ve domates (*Solanum lycopersicum L.*) gibi sebze tohumlarının işlenmesinde rutin olarak kullanılır (Dearman vd., 1987; Parera ve Cantliffe, 1994; Di Girolamo ve Barbanti, 2012). Tohumların çimlenme hızını ve gücünü artırmak için yapılan uygulamaların birçok farklı şekilde tanımlanabileceği belirtilmektedir. Bu uygulamalara genellikle "Priming", "tohum uygulamaları" veya "ekim öncesi uygulamalar" gibi isimler verilir (Kaya, 2008).

Genellikle tohumların çimlenme hızını artırmak amacıyla kullanılan priming işleminde, zararlı ve olumsuz etkisi olmayan malzemeler tercih edilmektedir. Malzemeler arasında PEG 6000 (polietilen glikol), PEG 8000, magnezyum, potasyum ve sodyum gibi inorganik tuzlar, mannitol, sakkaroz ve gliserol gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler yer almaktadır. Bu maddelerin kullanımı çimlenme hızını artırırken, tohumların sağlığına zarar vermez (Bodsworth ve Bewley, 1981; Adegbuyi vd. 1981; Ali vd. 1990; Cantliffe vd. 1981; Yanmaz vd. 1994).

Bray (1995) ve Corbineau ve Come (1990) tarafından yapılan bir araştırmaya göre; priming uygulanmış tohumların, priming uygulanmamış tohumlara göre daha geniş bir sıcaklık aralığında çimlenebilme özelliğine sahip olduğunu ve oksijen eksikliğine daha az hassasiyet gösterdikleri belirtilmiştir.

Priming uygulaması, tohumların solunum aktivitesini artırarak metabolik aktivitelerini hızlandırmaktadır (Halpin-Ingham ve Sundstrom, 1992). Ayrıca, yaşlı tohumlara priming uygulaması

yapıldığında, süperoksit dismutaz, katalaz ve glutathion reduktaz enzimlerinin aktivitesinde artışlar gözlemlenmektedir, bu da tohumların daha iyi bir şekilde stres faktörlerine yanıt vermesini sağlamaktadır (Bailly vd., 1997).

Priming işleminin temel mekanizması, tohumun su alımının ilk aşamasında depo maddelerinin mobilize olmasını sağlayan enzimleri aktive etmek ve bu sayede depo maddelerinin en iyi şekilde kullanımını sağlamaktır. Bu mekanizma, tohumların daha hızlı ve düzenli bir şekilde çimlenmesini sağlar. Böylece tohumların stresli ortamlara daha iyi adapte olmasını ve daha yüksek verimliliği elde etmesini sağlayabilir (Demir vd. 1994; Khan vd. 1992).

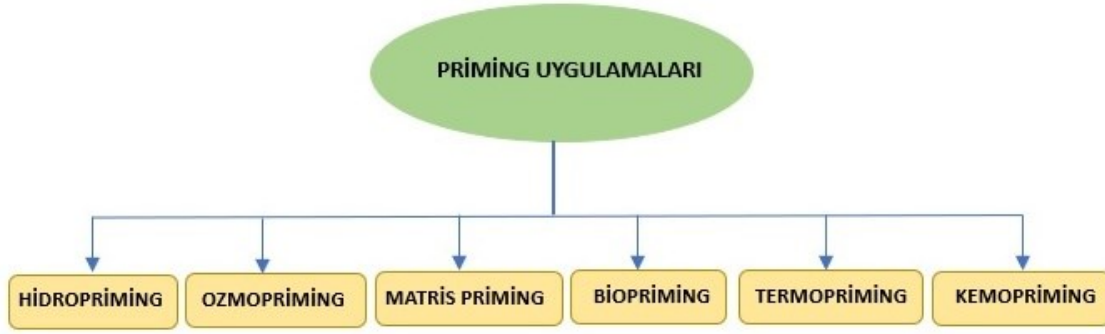
Priming, tohumda lipid peroksidasyonunun etkisini azaltıp enzim aktivitesini artırarak, tohumların daha sağlıklı çimlenmelerini sağlamaktadır. Örneğin, Saha vd. (1990) yaptıkları çalışmada, yaşlanmış soya fasulyesi tohumlarında matirpriming uygulanmamış tohumlara göre amilaz ve dehidrogenaz enzim aktivitesini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, osmopriming uygulanan tohumlarda lipid peroksidasyonunu önleyici enzimlerin (süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon reduktaz) aktivitelerini artırdığı da Bailly ve diğerleri (1997) tarafından gösterilmiştir. Yapılan priming neticesinde düşük sıcaklıkta çimlenme kabiliyetinin kısmen arttığı ve bu artışın, primingin serbest radikal ve peroksit engelleyici aktiviteleri üzerine olan iyileştirici etkisi ile bağlantılı olduğu belirtilmiştir (Chang ve Sung, 2001).

Priming su alımı sırasında lipid peroksidasyonunu azaltarak serbest radikal tutucu enzim aktivitesini artırdığı, ayrıca çıkış performansının artmasına katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Hsu vd., 2003). Ayrıca, primingin tohumun su alımı sırasında lipid peroksidasyonunu azalttığı saptanmıştır (Hsu vd., 2003). Rudrapal ve Nakamura, (1988b) yapmış oldukları çalışmalarında, patlıcan ve turp tohumlarına uygulanan hidrasyon ve dehidrasyon işlemlerinin, tohumlarda bulunan dehidrogenaz enzim aktivitesini artırdığını ve lipid peroksidasyonunu azalttığını bildirmişlerdir.

Heydecker ve Coolbear (1977) tarafından yapılan çalışmada, Woodstock domates tohumlarının %0.2'lik KNO₃ ve potasyum dihidrojen fosfat (KH₂PO₄) çözeltilerinde 8-12 saat priming uygulamasına tabi tutulması sonucunda çimlenme oranlarının arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışma, sebze türleri için yapılan priming uygulamaları hakkında erken bir örnek olmuştur. Priming uygulamasının süresi, tohumun türüne, yaşına ve kullanılan priming yöntemine göre değişebilmektedir. Farklı türdeki tohumlar için optimum priming süresi farklılık gösterebilmektedir. Ancak, uzun süreli priming uygulamaları bazen olumsuz etkiler de gösterebilmektedir. Örneğin, uzun süreli priming uygulamaları tohumlarda çimlenmeyi engelleyici maddelerin birikmesine ve oksijen eksikliğine neden olabilmektedir. Bu nedenle, optimum priming süresi belirlenirken bu faktörlerin göz önünde bulundurulması önemlidir (Murray, 1990).

Priming Uygulama Yöntemleri

Priming uygulamaları günümüzde genellikle hidropriming, ozmopriming ve matirpriming teknikleri ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Bu teknikler, tohumların daha hızlı ve etkili bir şekilde çimlenmesini sağlamak için geliştirilmiş yöntemlerdir (McDonald, 1999). Osmo-priming, hidro-priming, kemo priming, biyo-priming ve matris priming gibi uygulamalar olarak sınıflandırılmış ve çimlenme öncesi işlemler olarak bitkiler için dikkate değer avantajlar sunmaktadır (Chandel vd., 2024). Bunlar arasında artan çimlenme enerjisi, çimlenme oranları, biyotik ve abiyotik streslere karşı artan tolerans, gelişmiş büyüme-gelişme ve ürünlerde yüksek mikrobesein konsantrasyonları bulunmaktadır (Acharya vd., 2020).



Şekil 3. Priming uygulama yöntemleri.

Hidropriming

Hidropriming, tohumların ekim öncesinde belirli bir süre suda bekletilerek ıslatılması işlemidir. Bu yöntem, priming uygulamaları arasında en basit olanıdır ve çimlenme hızını ve oranını artırmak için kullanılan eski bir yöntemdir (Elkoca, 2006). Hidropriming, birçok bitki türünde başarılı bir şekilde kullanılan basit bir priming yöntemidir (Elkoca, 2006). Kimyasal madde kullanılmadığı için tohumlarda uygulama süresince kimyasal birikimi nedeniyle atık oluşmamaktadır (McDonald, 2000). Hidropriming uygulamasının önemli avantajları, büyük miktarlarda tohum kullanımına olanak sağlaması, kolay uygulanabilir olması ve diğer yöntemlere kıyasla daha ekonomik olmasıdır (Fujikura vd., 1993; Caseiro vd., 2004). Ancak, bu uygulamada dikkat edilmesi gereken bir nokta, su alımının kontrolsüz olması durumunda tohum dokularının hızlı su alımı nedeniyle hasar görebileceğidir (McDonald, 2000). Ayrıca hidropriming uygulama, yaygın bir şekilde kullanılsa da tohumların eşitsiz bir şekilde nemlenmesine neden olabilir ve bu da düzensiz çimlenmeye yol açabilir (Rethinam ve Krishnakumar, 2022).

Hidropriming uygulaması sırasında, tohumlar belirli bir süre boyunca genellikle 5 ila 20°C arasındaki optimum sıcaklık koşullarında suya batırılır (Paparella vd., 2015). Bu uygulama tohumların hızlı su alımına neden olabilir, çünkü süreç tohumların suya olan ilgisine bağlıdır. Bu nedenle, önemli bir nokta, kök çıkışını engellemek için uygun sıcaklık ve nem koşullarını bulmak ve sürdürmektir (Taylor vd., 1998). Hidropriming uygulaması, fazla tohum kullanımına izin vermesi, kolay uygulanabilir olması ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması gibi avantajlarına sahiptir. Ancak dikkatli bir şekilde uygulanması gerektiği unutulmamalıdır. Hidropriming, tohumların suya batırılarak ekim öncesi ıslatılması işlemidir ve priming uygulamalarının en eski yöntemlerinden biridir (Paparella vd., 2015). Ancak günümüzde diğer yöntemlere kıyasla daha az kullanılmaktadır. Bu uygulama uzun zamandır bilinmesine rağmen, diğer priming teknikleri daha gelişmiş avantajlara sahip olabilir (Paparella vd., 2015).

Ermiş ve ark. (2021) yaptığı çalışmada, kabak tohumlarına hidropriming uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama, tohumların 25°C sıcaklıkta suya batırılması ve 24 saat boyunca bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, hidropriming uygulanan tohumlar ve kontrol grubu, 100 mM NaCl, tuz ve -0.6 MPa polietilen glikol (PEG-6000) ile sağlanan osmotik stres koşullarında çimlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, hidropriming uygulamasının kabak anacı çeşitlerinin tohumlarında çimlenme potansiyelini ve fide gelişimini arttırmada etkili bir yöntem olabileceği gözlemlenmiştir (Ermiş vd., 2021).

Ozmopriming

Ozmopriming uygulamaları genellikle yüksek osmotik potansiyele sahip çözeltiler kullanılarak gerçekleştirilir ve düşük osmotik potansiyele kıyasla çimlenmeyi daha fazla teşvik eder (Elkoca, 2006). Ozmopriming, tohumların özel bir osmotik solüsyona batırılarak düşük su potansiyeline maruz kalmasını ve bu sayede kontrollü bir şekilde su alımının gerçekleşmesini sağlayan bir priming yöntemidir. Bu yöntemde tohumların çimlenme hızı ve oranı arttırılmakta, ancak aynı zamanda kök çıkışının önlenmesi için kontrollü su alımı sağlanmaktadır. Heydecker ve Gibbins (1978) tarafından geliştirilen bu yöntem, priming uygulamaları arasında önemli bir yere sahiptir.

Osmoprining, tohumların ekimden önce düşük su potansiyeline sahip bir ozmotik solüsyona maruz bırakılarak su alımının kontrol edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu prosedür, su alımının kontrol edilebilmesi ve kök çıkışının önlenmesi temeline dayanmaktadır (Paparella vd., 2015). Osmoprining işleminde, tohumların düşük su potansiyeline sahip ozmotik solüsyonlara maruz bırakılarak su alımının kontrollü bir şekilde sağlanması amaçlanmaktadır. Bu işlemde PEG, mannitol, glycerol, sucrose gibi ozmotik maddeler ile KCl, K₃PO₄, KNO₃, KH₂PO₄ gibi ozmotik çözeltiler, inorganik tuzlar gibi maddeler kullanılmaktadır (Al-Karaki, 1998; Parera ve Cantliffe, 1994; Elkoca, 2006). Ancak, tohum tarafından kullanılma durumlarına bağlı olarak bu maddelerin bazen toksik etki gösterdiği gözlemlenebilmektedir (Bradford, 1995). Tohum kabuğu arasında bulunan bir dış tabaka, iyon/çözünen değişimini sınırlayarak tohumun su ve hazırlama maddelerine karşı geçirgenliğini kontrol edebilir (Zhou vd., 2013).

“Osmoprining, küçük tohumlu bitkilerde başarılı bir yöntem olarak kabul edilirken, büyük tohumlu bitkilerde etkisi daha az olabilir. Örneğin, soya fasulyesi ve tatlı mısır, osmoprining uygulandığında etkisi daha az gözlemlenen bitkilerdir (Helsel vd., 1986; Bennett ve Waters, 1987; Elkoca, 2006).

Matris priming

Yüksek osmoprining, tohumların dayanıklılığını artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Ancak bu yöntem çok pahalıdır, çünkü tohumları ozmotik solüsyon içinde tutmak ve havalandırmak için büyük ve karmaşık sistemler gerektirir. Bu yüzden daha ucuz ve basit bir yöntem olan katı matris priming geliştirilmiştir. Bu yöntemde tohumlar ozmotik solüsyon yerine katı bir madde ile kaplanır ve böylece daha az maliyetle aynı sonuç elde edilir (Paparella vd., 2015). Matris priming, tohumların katı bir madde ile kaplanarak çimlenmeye hazırlandığı bir yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan katı madde, tohumların su alımını ve solunumunu ayarlar. Matris priming yaparken vermikülit, leonardit gibi suyu iyi tutan ve tohumlara zarar vermeyen maddeler seçilmelidir. Çünkü katı madde seçimi, priming sonucunu etkiler. Katı madde ile kaplanan tohumlar daha sonra yıkanır ve kurutulur (Elkoca, 2006; Paparella vd., 2015).

Matris priming yapmak için katı bir madde kullanılır. Bu madde hem suyu iyi tutmalı hem de tohumlara zarar vermemeli ve kolayca ayrılmalıdır. Bu özellikleri taşıyan madde de vermikülitir. Vermikülit, suyu sıkıca bağlar ve tohumlara matrik bir kuvvet uygular. Böylece tohumlar bu ortamda suyu yavaş yavaş ve kontrollü bir şekilde alırlar (Whalley vd., 2013; Khan 1991; Khan 1992). Bu uygulama, bitki türüne bağlı olarak 1-14 gün arası sürer (McDonald, 2000; Hussain vd., 2006). Uygulama sayesinde küçük ve büyük tohumlu pek çok bitki türünde tohumlar hızlı ve düzenli bir şekilde çimlenir ve bitkiler güçlü bir şekilde büyür (Elkoca, 2006).

Bio-priming

Bio-priming, bitkilerin sağlıklı ve verimli olmasına katkı sağlayan bir yöntemdir. Tohum bio-priming, tohumların bir biyo-kontrol ajanı/aşılama maddesi ile işlem görmesidir. Bu işlem sayesinde tohumlar daha kolay çimlenir, streslere karşı dirençli olur, bitki büyümesi düzenlenir ve bitki bağımsızlığı artar (Sarkar vd., 2021). Bio-priming, tohumların bir kaplama işlemi veya tohum muamelesi ile bitki büyümesini destekleyen PGPR adı verilen faydalı mikroorganizmalar ile işlem görmesidir. Bu işlem sırasında tohumlar kontrollü bir şekilde su alır ve kökçük çıkmadan önce çimlenmeye hazır hale gelir (Sukanya vd., 2018).

Bazı mantarlar veya bakteriler bitkilerle içten bir ilişki kurabilirler. Bu ilişki bitkilerin yararına, çünkü bitkilerin daha hızlı büyümesini ve bitki hormonu üretmesini sağlar. Ayrıca bitkilerin biyotik/abiyotik streslere karşı daha dayanıklı olmasına da katkıda bulunur (Waller vd., 2005). Yapılan bir çalışmada, sebze tohumlarını bio-priming yapmak için *Trichoderma* adlı bir mantar kullanılmıştır. Buna göre mantarın bio-priming uygulaması açısından *harzianum* türüne karşı etkili olduğu belirtilmiştir. Daha sonraki yıllarda, *Trichoderma pseudokoningii* türü ve *Bacillus* spp., *Gliocladium* spp. ve *Pseudomonas fluorescens* adlı bakteriler de bio-priming için etkili bir şekilde kullanılmıştır (İlyas, 2006).

Bio-priming uygulanmış tohumlar, antioksidan enzimler bakımından zengindir. Bu enzimler katalaz, süperoksit dismutaz, peroksidaz, glutatyon redüktaz, askorbik asit ve diğerleridir. Bio-priming uygulanmış tohumlar fide olduktan sonra oksidatif strese karşı daha iyi korunurlar (Hussain vd., 2019).

Araştırmalara göre, *Azospirillum* sp. adlı bir bakteri marul tohumlarına faydalı olmuştur. Bu bakteri, stresli ortamlarda marulun kalitesini, büyümesini ve dayanıklılığını artırmıştır (Fasciglione vd., 2015). Domatesin kök bölgesinden alınan *P. fluorescens*, *P. stutzeri* ve *P. aeruginosa* adlı bakteriler de domatesin tuz toleransını yükseltmiştir. Bu bakteriler bitki hormonu ve ACC-deaminaz üretimini yükselterek ve trikarboksilik asit döngüsünü düzenleyerek bunu başarmıştır (De La Torre-González vd., 2018).

Termoprining

Tohumların farklı sıcaklıklara maruz bırakılmasıyla ısı priming elde edilir. Bu yöntemde düşük sıcaklıklar daha iyi performans gösterir (Paparella vd., 2015). Bazı bitkiler ise yüksek sıcaklıklı ısı primingden faydalanır. Genellikle sıcak iklimlere adapte olmuşlardır ve bu sayede daha kolay ve düzgün çimlenirler (Khalil vd., 1983). Tohumlar termoprining tekniğiyle karanlıkta ve oksijenli suyun içinde yüksek sıcaklıkta bekletilir (Özmen ve Kenanoğlu, 2020). Bu yöntem tohumları mikroplardan arındırarak hastalıkları önler (Özmen ve Kenanoğlu, 2020). Domates tohumları 60°C'de 2 saat termoprining yapıldığında, 50°C'de yapılanlara göre daha uzun sürgünler, daha ağır sürgünler, daha geniş yapraklar, daha çok çiçek, daha iyi meyve tutumu ve daha yüksek verim elde edilmiştir (Khalil vd., 1983).

Priming tekniği ile tohum canlılığının yeniden artırılması, ancak türe bağlı olarak değişen kritik nem kapsamının üzerine çıktığında mümkün olmaktadır. Tohumların ulaştıkları nem kapsamı değerleri belirli kritik nem seviyelerinin üzerine çıktığında, tohumlarda rejenerasyon mekanizması çalışmakta ve bu sayede tohum canlılığı ile gücünde iyileşmeler meydana gelmektedir (İbrahim ve Roberts, 1983; Ward ve Powell, 1983; Sivritepe 1999, Sivritepe ve Eriş, 2000).

Tohumların canlılığı, priming tekniği kullanılarak artırılabilir. Ancak, bu teknik türe bağlı olarak farklı kritik nem seviyelerini gerektirmekte ve tohumlar belirli bir nem seviyesine kadar kurutulduktan sonra, nem seviyesi artırıldığında tohumlarda rejenerasyon mekanizması çalışmaktadır. Bunun sonucunda ise tohumların canlılığı ve gücü artmaktadır (İbrahim ve Roberts, 1983; Ward ve Powell, 1983; Sivritepe ve Eriş, 2000).

Yıldız ve Aksoy (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, patlıcan tohumlarının termoprining yöntemiyle işlenmesinin, fide kalitesi ve performansına olan etkileri araştırılmıştır. Araştırmada, patlıcan tohumlarına 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma uygulamalarının, tohumlardaki iyileşmelerin 5 dakikalık uygulamalardan başladığı ve en iyi sonuçların 10 dakikalık uygulamalardan elde edildiği belirlenmiştir. Ancak, 45°C sıcaklıkta yapılan uygulamaların süresinin artması, tohumlarda canlılık bakımından olumsuz etkilere yol açabilmiştir. Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, en iyi sonuçların 45°C sıcaklıkta 10 dakikalık uygulamalardan elde edildiği görülmüştür. Çalışmalar sonucunda, termo priming uygulamasının patlıcan tohumlarının çimlenme hızını arttırdığı, fide boyunu ve kök gelişimini olumlu yönde etkilediği ve patlıcan bitkisinin stres koşullarına karşı daha dayanıklı hale getirdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, patlıcan üretiminde termoprining uygulaması, fide kalitesi ve performansını artırmak için etkili bir yöntem olarak kullanılabilir (Yıldız ve Aksoy, 2019).

Kemoprining

Kemoprining, tohumları sodyum hipoklorit (NaOCI) veya hidroklorik asit (HCl) gibi yaygın dezenfektanlar, doğal bileşikler ve tarımsal kimyasallar ile işlemektir (Khah, 1992). Bu yöntem tohumlarda mikropların yol açtığı çimlenme sorunlarını azaltır. Ancak kemoprining yaparken, dezenfektan miktarı, işlem süresi, çözelti ısısı, tohum yaşlılığı gibi bazı faktörlerin iyi ayarlanması gerekir (Khah, 1992). Kemoprining teknolojisi, tohumları işlemek için pestisit-kollajen hidrolizat karışımları gibi biyoaktif özelliklere sahip olan yeni malzemeler kullanır. Bu sayede çevredeki pestisit yayılımı azalır (Paparella vd., 2015).

Sonuç

Tohumların çimlenme gücünü ve hızını etkileyen faktörleri incelediğimiz bu derleme çalışmamızda, çimlenmede tohumun olgunlaşmasının etkili olduğu belirtilmiştir. Olgunlaşan tohumlar en uygun

sıcaklık, nem ve oksijen değerlerine sahip ortamlara konulduğunda tohumun çimlenmesi gerçekleşmektedir. Tohumların çimlenmesini yöneten bir diğer faktör ise hormonlardır. Tohumlarda bulunan gibberellin hormonu çimlenmeyi teşvik ederken, ABA hormonu dormansiyi artırarak çimlenmeyi engellemektedir. Bazı durumlarda tüm koşullar uygun olsa bile çimlenme meydana gelemez. Dormansi durumunda tohumlar çimlenmeye karşı direnç gösterirken uyku halinde de bulunabilmektedir. Dormant tohumlarda dormansinin kırılması ve çimlenmenin uyarılması için bazı uygulamaların yapılması gerekmektedir. Dormansiyi yok etmek adına çeşitli priming uygulamaları sayesinde hormonal değişiklikler meydana gelerek çimlenme başlatılabilmektedir.

Tohumların çimlenmesini etkileyen dış faktörlerden en önemlisi sudur. Tohumlarda çimlenme su alımı olmadan meydana gelemez. Suyu doymuş hale gelen embriyo şişerek tohum kabuğunu çatlatmakta ve radisilini geliştirmeye başlamaktadır. Bunun yanı sıra sıcaklığın optimum seviyede olması ve ortamda oksijen bulunması mutlak gereklidir. Sıcaklığın istenilen düzeyde olması çimlenmenin meydana gelmesi ve homojen bitki gelişimi için oldukça önemlidir. Tohumda çimlenmenin sağlıklı oluşabilmesi çevresel faktörlerin kontrol altında olması ve sürdürülebilir nitelikte olması ile sağlanmaktadır.

Tohumların çimlenme kabiliyetlerini etkileyen diğer faktörler ise hasat zamanı ve depolama işlemleridir. Tohumun olgunluğunun belirlenmesi ve en uygun hasat zamanının tespit edilmesi tohumun çimlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Erken hasat edilmiş tohumlarda çimlenme oranı düşmektedir. Benzer şekilde geç hasat edilen tohumlarda da meyve içinde çimlenme oluşmakta ve çimlenme oranı düşebilmektedir. Her iki durumda istenmeyen bir durum olup çimlenmeyi doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, tohumlarda depolama süresi depo sıcaklığı ve nemine bağlı olarak değişmektedir. Optimum sıcaklık değerleri 0-15°C arasında değişmekte ve nem değerinin %20 ile %40 arasında bulunması gerekmektedir. Uygun depolama koşulları sağlandığında tohumlar uzun yıllar saklanabilmektedir. Ancak priming uygulaması yapılmış tohumlarda depolama süresi maksimum bir yıl olmaktadır. Yapılan çalışmaya göre tohumlarda kalite ve çimlenmeyi etkileyen çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir.

Yazarlar Katkısı

Yazarlar makalenin hazırlanmasında eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Kaynaklar

- Acharya, P., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K.M., Jifon, J.L. & Patil, B.S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific reports*, 10(1), 5037. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>
- Acosta, M.C., Manfreda, V.T., Alcaraz, M.L., Alemano, S., & Causin, H.F. (2022). Germination responses in *Zephyranthes tubispatha* seeds exposed to different thermal conditions and the role of antioxidant metabolism and several phytohormones in their control. *Seed Science Research*, 1-16. <https://doi.org/10.1017/s0960258522000228>
- Adegbuyi, E., Cooper, S.R. & Don, R. (1981). Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethylene glycol (PEG). *Seed Science and Technology*, 9: 867-878.
- Al-Ani, A., Bruzau, F., Raymond, P., Saint-Ges, V., Leblanc, J.M., & Pradet, A. (1985). Effects of anoxia on wheat seed germination and seedling growth. *Plant Physiology*, 78(1), 205-208. <https://doi.org/10.1104/pp.79.3.885>
- Al-Ansari, F., Ksiksi, T., (2016). A quantitative assessment of germination parameters: the case of *Crotalaria persica* and *Tephrosia apollinea*. *The Open Ecology J* 9, 13–21. <https://doi.org/10.2174/1874213001609010013>
- Ali, A.V., Souza Machado ve Mahill, A.S. (1990). Osmoconditioning of tomato and onion seeds. *Scientia Hort.*, 43: 213-234. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90093-t](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90093-t)
- Al-Karaki, G.N. (1998). Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181: 229-235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1998.tb00422.x>

- Arın, L., Eser, B. ve İlbi, H., (2019), Tohum, Tohumculuk ve Teknolojileri, Tohum Biyolojisi, Bölüm II, Tohum Biyolojisi, Editör: Tahsin Kesici, BİSAB, ANKARA, 51-138 s.
- Ayan, S., Usta, T. (2010). Sıcaklık şoklarının doğal çam türleri tohumlarının canlılığı üzerine etkisi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 766-774.
- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., Come, D. (1997). Changes in Superoxide Dismutase, Catalase and Glutathione Reductase Activities in Sunflower Seeds During Accelerated Aging and Subsequent Priming. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J., Hong, T.D. (ed.) Basic and Applied Aspects of Seed Biology. 665-672. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5716-2_74
- Ballaré, C.L., Scopel, A.L., Sánchez, R.A., & Radosevich, S.R. (1992). Photomorphogenic processes in the agricultural environment. *Photochemistry and Photobiology*, 56(5), 777-788. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1992.tb02234.x>
- Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants ve Agriculture Research*, 8(4), 336-346. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00335>
- Batlla, D., Benech-Arnold, R.L. (2014). Weed seed germination and the light environment: implications for weed management. *Weed Biology and Management*, 14(2), 77-87. <https://doi.org/10.1111/wbm.12039>
- Bennett, M.A., Waters, L. (1987). Seed hydration treatments for improved sweet corn germination and stand establishment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112: 45-49. <https://doi.org/10.21273/jashs.112.1.45>
- Bentsink, L., & Koornneef, M. (2008). Seed dormancy and germination. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*, 6. <https://doi.org/10.1199/tab.0119>
- Bewley, J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *The plant cell*, 9(7), 1055. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055>
- Bodsworth, S. and Bewley, J.D. (1981). Osmotic priming of seed of crop species with polyethylne glycol as a mean enhancing early and synchronous germination at cool temperatures. *Can. J. Bot.*, 5: 672-676. <https://doi.org/10.1139/b81-094>
- Boyras, M., Korkmaz, H., ve Durmaz, A. (2019). Tohumda dormansi ve çimlenme. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(3), 92-105 <https://doi.org/10.34248/bsengineering.527684>
- Bradford, K.J., Benech-Arnold, R.L., Côme, D., & Corbineau, F. (2008). Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid and gibberellin using a population-based threshold model: Reply to commentaries. *Plant Physiology*, 146(4), 1573-1574. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm315>
- Bradford, K.J., Côme, D., & Corbineau, F. (2007). Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid, and gibberellin using a population-based threshold model. *Plant Physiology*, 144(1), 154-168. <https://doi.org/10.1017/s0960258507657389>
- Bradford, K.J. (1995). Water Relations in Seed Germination. In: Kigel, J., Galili, G. (ed.) *Seed Development and Germination*. 351-396. Marcel Dekker, New York.
- Bray, C.M. (1995). Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: Kigel J, Galili G (eds) *Seed development and germination*. Marcel Dekker Inc, New York, pp 767-789
- Cantliffe, D.J., K.D., Shuler & A.J. Guedes. (1981). Overcoming seed thermodormancy in a heat sensitive romaine lettuce by seed priming. *Hortscience*, 16: 196-198. <https://doi.org/10.21273/hortsci.16.2.196>
- Caseiro, R., Bennett, M.A., Marcos-Filho, J. (2004). Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Science and Technology*, 32: 365-375. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.2.09>
- Chandel, N.S., Tripathi, V., Singh, H.B. & Vaishnav, A. (2023). Breaking seed dormancy for sustainable food production: Revisiting seed priming techniques and prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976>
- Chang, C.C. & Sung, J.M. (2001). Priming bitter gourd seeds with selenium solution enhances germinability and antioxidative responses under sub-optimal temperature. *Physiologia Plantarum*, 111(9):9-16. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110102.x>
- Choi, H.I., Park, H.J., Park, J.H., Kim, S., Im, M.Y., Seo, H.H., Kim, Y.W., Hwang, I. & Kim, S.Y. (2005). Arabidopsis calcium-dependent protein kinase AtCPK32 interacts with ABF4, a transcriptional regulator of abscisic acid-responsive gene expression, and modulates its activity. *Plant Physiol.* 139, 1750-1761. <https://doi.org/10.1104/pp.105.069757>
- Côme, D., Corbineau, F., & Lecat, V. (1988). Relationships between seed dormancy and abscisic acid metabolism in beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Journal of Plant Physiology*, 132(2), 174-179.
- Copeland, L.O. (2001). McDonald MB. Tohum Bilimi ve Teknolojisinin İlkeleri. 4. baskı, Kluwer Academic Publishers. Boston; 467s.
- Corbineau, F. (1990). Potential of the controlled deterioration test for seed vigor prediction. *Seed Science and Technology*, 18(3), 505-511.
- Corbineau, F. (2022). Oxygen, a key signalling factor in the control of seed germination and dormancy. *Seed Science Research*, 32(3), 126-136.

- Corbineau, F., Bagniol, S., & Côme, D. (1990). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed dormancy and its regulation by ethylene. *Israel Journal of Botany*, 39(4-6), 313-325.
- Corbineau, F., Côme, D. (1995). Control of seed germination and dormancy by gaseous environment, pp. 397–424 in Kigel J and Galili G (Eds) *Seed development and germination*. New York, Marcel Dekker.
- Corbineau, F., Côme, D., Kigel, J., & Galili, G. (1995). Changes in sensitivity to abscisic acid and gibberellins at the embryonic root tip related to dormancy release in sunflower seeds. *Plant, Cell ve Environment*, 18(3), 317-324.
- Çetinbaş, M., ve Koyuncu, F. (2005). Soğukta nemli katlama ve tohum kabuğunun kuş kirazı (*Prunus avium* L.) tohumlarında dormansinin kırılması üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(3), 417-423.
- De La Torre-González, A., Montesinos-Pereira, D., Blasco, B., Ruiz, J., (2018). Influence of the proline metabolism and glycine betaine on tolerance to salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) commercial genotypes. *J. Plant Physiol.* 231, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.10.013>
- Dearman, J., Brocklehurst, P.A. & Drew, R.L.K. (1987). Effect of osmotic priming and aging on the germination and emergence of carrot and leek seed. *Ann Appl Biol* 111:717–722. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1987.tb02029.x>
- Demir, İ., Ellialtıoğlu, S. & Tıprıdamaz, R. (1994). The effect of different priming treatments on reparability of aged eggplant seeds. *Acta Horticulture*, 362: 205-212. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.362.25>
- Demirkaya, M. (2006). Polietilenglikol ile osmotik koşullandırma ve humidifikasyon uygulamalarının biber tohumlarının çimlenme hızı ve oranı üzerine etkileri. *Erciyes Üniv. Fen Bil. Enst. Dergisi*, 22 (1-2), 223-228.
- Di Girolamo, G., Barbanti, L. (2012). Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian J Agr* 7: e25 <https://doi.org/10.4081/ija.2012.e25>
- Elkoca, E. (2007). Priming: ekim öncesi tohum uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1), 113-120.
- Ellis, R.H., & Butcher, P.D. (1988). The effects of priming and ‘natural’ differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *Journal of Experimental Botany*, 39(7), 935-950. <https://doi.org/10.1093/jxb/39.7.935>
- El-Maarouf-Bouteau, H. (2022). The seed and the metabolism regulation. *Biology*, 11(2), 168. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976>
- Er, C., Başalma, D. (2014). *Tohumluk ve Tohumculuk Temel İlkeler ve Teknoloji (Birinci Baskı)* Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Ermış, S., Öktem, G., Gökdaş, Z., & Demir, I. (2021). Effect of Hydro-Priming on Seed Germination and Early Seedling Growth in Three Cucurbit Rootstock Cultivars under Salt and Osmotic Stresses. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(1), 1-5.
- Fankhauser, C. (2002). Light perception in plants: cytokinins and red light join forces to keep phytochrome B active. *Trends Plant Sci.* 7, 143–145. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02228-8](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02228-8)
- Farooq, M.A., Ma, W., Shen, S., & Gu, A. (2022). Underlying biochemical and molecular mechanisms for seed germination. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8502. <https://doi.org/10.3390/ijms23158502>
- Fasciglione, G., Casanovas, E. M., Quillehauquy, V., Yommi, A. K., Goñi, M. G., Roura, S. I., & Barassi, C. A. (2015). Azospirillum inoculation effects on growth, product quality and storage life of lettuce plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 195, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.015>
- Finch-Savage, W.E., & Footitt, S. (2017). Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 843-856. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw477>
- Finch-Savage, W.E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New phytologist*, 171(3), 501-523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Finkelstein, R. (2010). The role of hormones during seed development and germination. In *Plant Hormones* (pp. 135-156). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_24
- Finkelstein, R.R., Gampala, S.S., & Rock, C.D. (2008). Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *The Plant Cell*, 20(3), 738-751.
- Fujikura, Y., Kraak, H.L., Basra, A.S. & Karssen, C.M. (1993). Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology*, 21: 639-642.
- Gemici, M. (2019). *Tohum Çimlenme Fizyolojisi ve Ekolojisi Ders Notları*, E.Ü. Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bornova – İZMİR.
- Georghiou, K., Thanos, C.A., Tafas, T.P. & Mitrakos, K. (1982). Tomato seed germination. Osmotic pretreatment and far red inhibition. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 33, No. 5, pp. 1068-1075. <https://doi.org/10.1093/jxb/33.5.1068>

- Gubler, F., Millar, A.A., & Jacobsen, J.V. (2005). Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(2), 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.01.011>
- Halpin-Ingham, B., Sundstrom, F.J., (1992). Pepper seed water content, germination response and respiration following priming treatments. *Seed Science and Technology*, 20: 589-596.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester & F.T. Davies. (1990). *Plant Propagation. Principles of Propagation by Seed*. 647 p.
- Helsel, D.G., Helsel, D.R. & Minor, H.C. (1986). Field studies on osmoconditioning soybeans, *Glycine max*. *Field Crops Research*, 14: 291-298. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90064-x](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90064-x)
- Heydecker, W. (1973). *Germination of an idea: The priming of seeds*. University of Nottingham School of Agriculture. Rep.
- Heydecker, W., Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. *Seed science and technology*.
- Heydecker, W., Gibbins, B. (1978). The 'priming' of seeds. *Acta Horticulturae*, 83: 213-215. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1978.83.29>
- Hill, H, Bradford K.J., Cunningham, J., Taylor, A.G. (2008). Primed lettuce seeds exhibit increased sensitivity to moisture during aging. *Acta Hort* 782:135–141. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.782.14>
- Hill, N. S., Bouton, J. H., Hiatt, E. E., & Kittle, B. (2005). Seed maturity, germination, and endophyte relationships in tall fescue. *Crop Science*, 45(3), 859-863. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0057>
- Hsu, C.C., Chen, C.L., Chen, J.J. & Sung, J. M. (2003). Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulturae*, 98: 201-212. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(03\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00002-5)
- Hussain, M., Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N., (2006). Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8: 14-18.
- Hussain, S., Hussain, S., Khaliq, A., Ali, S., Khan, I., (2019). Physiological, biochemical, and molecular aspects of seed priming. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*. Springer, Singapore, pp. 43–62. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_3
- Ibrahim, A., Roberts, E.H. (1983). Viability of lettuce seeds. I. Survival in hermetic storage. *Journal of Experimental Botany*, 34: 620-630. <https://doi.org/10.1093/jxb/34.5.620>
- İlbi, H. ve Gemici, M., (2005), Tohum Depolamanın Temel İlkeleri, Tohum Bilimi ve Teknolojisi. Editörler: B. Eser, Saygılı, H., Gökçöl, A. ve İlker, E., Ege Üniv. Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayınları, No:3, Cilt:1, İzmir, 427-514 s.
- İlyas, S. (2006). Seed treatments using matricconditioning to improve vegetable seed quality. *Bull Agron* 34:124–132
- Jiang, A., Guo, Z., Pan, J., Yang, Y., Zhuang, Y., Zuo, D., ... & Li, L. (2021). The PIF1-miR408-PLANTACYANIN repression cascade regulates light-dependent seed germination. *The Plant Cell*, 33(5), 1506-1529. <https://doi.org/10.1093/plcell/koab060>
- Karakurt, H., Aslantaş, R., ve 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.
- Kavut, E. (2019). Bazı mevsimlik süs bitkisi tohumlarının çimlenme ve fide performanslarının iyileştirilmesi.
- Kavut, E., Kavut, Y.T. & Geren, H. (2017). An Approach to Dormancy Breaking Techniques of Crop Seeds, *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF)*, Cappadocia, 1:575.
- Kaya, G. (2008). Tohum Uygulamaları (Priming)'nın Tohum Yağ Asitleri Kompozisyonuna Etkisi ve Tohum Kalitesi ile İlişkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 17(1-2).
- Khah E.M. (1992). Sodium hypochlorite concentration, temperature, and seed age influence germination of sweet pepper. *Hort Sci* 27:821–823. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.7.821>
- Khan, A.A., Maguire, J.D., Abawi, G.S. & Ilyas, S. (1992). Matricconditioning of vegetable seeds to improve stand establishment in early field plantings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(1), 41-47. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.1.41>
- Khan, A.A. (1991). Preplant physiological seed conditioning. *Hort Rev* 13:131–181. <https://doi.org/10.1002/9780470650509.ch4>
- Khan, A.A. (1992). Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 13: 131-181. <https://doi.org/10.1002/9780470650509.ch4>
- Kırca, L., & Aygün, A. (2018). Ahlat (*Pyrus elaeagrifolia* Pall.) tohumlarının çimlenmesi üzerine potasyum nitrat (KNO₃) uygulamalarının etkisi. *Uluslararası Tarım Kongresi (UTAK 2018)*.
- Koornneef, M., Bentsink, L., & Hilhorst, H. (2002). Seed dormancy and germination. *Current opinion in plant biology*, 5(1), 33-36. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(01\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(01)00219-9)
- Leishman, M.R. (2001). Does the seed size/number trade-off model determine plant community structure? An assessment of the model mechanisms and their generality. *Oikos*, 93(2), 294-302. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.930212.x>

- Matilla, A. & Matilla-Vázquez, M., (2008). Involvement of ethylene in seed physiology, *Plant Science*, 175 (1-2), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.01.014>
- Mayer, A.M. and Poljakoff-Mayker, A., (1989). *The Germination of Seeds (Fourth Edition)* Pergamon Press Plc, Headington Hill Hall, Oxford OX3 OBW, England, 270 s. ISBN: 0-088-035723-7.
- McDonald, M.B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assesment. *Seed Sci. and Tech.*, 27:177-237.
- McDonald, M.B. (2000). Seed Priming. In: Black, M., Bewley, J.D. (ed.) *Seed Technology and Its Biological Basis*. 287–325. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
- Merhar, A., Calistru, C., & Berjak P.A. (2005). Study of some Biochemical and Histopathological Responses of Wet-stored Recalcitrant Seeds of *Avicennia marina* Infected by *Fusarium moniliforme*. *Ann Bot.* 92(3):401–408. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg154>
- Miransari, M., Smith, D.L. (2009). Rhizobial lipo-chitooligosaccharides and gibberellins enhance barley (*Hoedum vulgare L.*) seed germination. *Biotechnol.* 8, 270–275. <https://doi.org/10.3923/biotech.2009.270.275>
- Miransari, M., and Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and experimental botany*, 99, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
- Negash, L. (1995). *Indigenous Trees of Ethiopia: Biology, Uses and Propagation Techniques*. SLU Reprocentralen, Umeå Sweden. 285p.
- Negash, L. (2003). Seed germination ecology of *Acacia tortilis* subsp. *Raddiana* and *A. laeta* in arid land restoration. *Journal of Arid Environments*, 53(4), 453-465.
- Osburn, R.M., Schroth, M.N. (1989). Effect of osmopriming sugar beet deed on exudation and subsequent damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78:1246–1250. <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-1246>
- Özmen, K., ve Kenanoğlu, B. (2020). Farklı Priming Uygulamalarının Patlıcan (*Solanum melongena L.*) Çeşitlerinin Tohumları Üzerindeki Etkinliği. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(3), 342-360. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.798333>
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34, 1281-1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
- Parera, C.A., Cantliffe, D.J. (1994). Presowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 16: 109-141. <https://doi.org/10.1002/9780470650561.ch4>
- Quil, N. (1997). Changes in seed quality during seed development and maturation in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Seed Science Research*, 7(1), 1-8.
- Rahimi, H., Malek, M. & Ghaderi-Far, F. (2022). Seed Dormancy: A Review on Importance, Dormancy Types and Elimination Methods, with Emphasis on the Trend of Seed Dormancy Research in Iran. *Iranian Journal of Seed Research*, 8(2), 131-150. <https://doi.org/10.52547/yujs.8.2.131>
- Rakshit, A., & Singh, H.B. (Eds.). (2018). *Advances in seed priming* (pp. 147-183). Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5>
- Raven, P.H., Evert, R.F., and Eichhorn, S.E. (2005). *Physiology of seed plants: Plant nutrition and soils*. *Biology of Plants* (7th ed.). New York: WH Freeman and Company.
- Rethinam, P. and Krishnakumar, V. (2022). Patents Granted for Coconut Water, Coconut Water Vinegar and Machineries in Coconut Water Industry. In *Coconut Water: A Promising Natural Health Drink-Distribution, Processing and Nutritional Benefits* (pp. 475-497). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10713-9_11
- Rudrapal, D. and Nakamura, S. (1988b). The effect of hydration-dehydration pretreatments on eggplant and radish seed viability and vigour. *Seed Sci. and Tech.*, 16:123-130.
- Khalil, S., Moursy, H.A., & Saleh, S.A. (1983). Wheat plant reactions to pre-sowing heat hardening of grains. II. Changes in photosynthetic pigments, nitrogen and carbohydrate metabolism. *Bulletin of Egyptian Society for Physiological Sciences*, 3, 161-175.
- Saha, R., Mandal, A. K. and Basu, R. N. (1990). Physiology of seed invigoration treatments in soybean (*Glycine max L.*). *Seed Sci. and Tech.*, 18:269-276
- Sarkar, D., Rakshit, A., Al-Turki, A.I., Sayyed, R.Z., Datta, R., (2021). Connecting biopriming approach with integrated nutrient management for improved nutrient use efficiency in crop species. *Agriculture* 11 (4), 372 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040372>
- Seo, M., Nambara, E., Choi, G. and Yamaguchi, S. (2009). Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. *Plant Mol Biol.* 69, 463–472. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9429-y>
- Shelar, A., Singh, A.V., Dietrich, P., Maharjan, R.S., Thissen, A., Didwal, P.N. & Patil, R. (2022). Emerging cold plasma treatment and machine learning prospects for seed priming: a step towards sustainable food production. *RSC advances*, 12(17), 10467-10488. <https://doi.org/10.1039/D2RA00809B>
- Sivritepe, H.Ö. (1999). Sebze Tohumlarında kalite ve performansın artırılması üzerine ozmotik koşullandırmanın etkileri. *Türkiye 3. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, 14-17 Eylül 1999, Ankara. S. 525-529.

- Sivritepe, H.Ö., Eriş, A. (2000). The effects of post-storage priming treatments on viability and repair of genetic damage in pea seeds. *Acta Horticulturae*, 517: 143-149. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.517.16>
- Springthorpe, V. & Penfield, S. (2015), Flowering time and seed dormancy control use external coincidence to generate life history strategy. <https://doi.org/10.7554/eLife.05557.018>
- Sukanya, V., Patel, R.M., Suthar, K.P., Singh, D. (2018). An overview: mechanism involved in bio-priming mediated plant growth promotion. *Int. J. Pure Appl. Biosci.* 6 (5), 771–783. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.6508>
- Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennett, M.A., & Bradford, K.J. (1998). Seed enhancement. *Seed Science Research*, 8, 245-256. <https://doi.org/10.1017/S0960258500004141>
- Tian, Q., Uhlir, N.J., Reed, J.W. (2002). Arabidopsis SHY2/IAA3 inhibits auxin-regulated gene expression. *Plant Cell* 14, 301–319. <https://doi.org/10.1105/tpc.010283>
- Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., Von-Wettstein, D. (2005). The endophytic fungus *piriformis indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:13386–13391. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504423102>
- Wang, H., Zhao, K., Li, X., Chen, X., Liu, W., Wang, J. (2020). Factors affecting seed germination and emergence of *Aegilops tauschii*. *Weed Res.*, 60, 171–181. <https://doi.org/10.1111/wre.12410>
- Ward, F.H. ve Powell, A.A. (1983). Evidence for repair processes in onion seeds during storage at high seed moisture contents. *Journal of Experimental Botany*, 34: 277-282. <https://doi.org/10.1093/jxb/34.3.277>
- Weitbrecht, K., Müller, K., Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3289-3309. <https://doi.org/10.1093/jxb/err030>
- Whalley, W.R., Ober, E.S., Jenkins, M. (2013). Measurement of the matric potential of soil water in the rhizosphere. *J Exp Bot* 64:3951–3963. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert044>
- Wright, B., (1931). The effects of high temperatures on seed germination. *Journal of Forestry*, 29(5): 679-687.
- Yamaguchi, S. ve Kamiya, Y. (2002). Gibberalins and light-stimulated seed germination. *J. Plant Growth Regul.*, 20:369-376. <https://doi.org/10.1007/s003440010035>
- Yan, A., ve Chen, Z. (2017). The pivotal role of abscisic acid signaling during transition from seed maturation to germination. *Plant Cell Reports*, 36, 689-703. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2082-z>
- Yanmaz, R., Demir, İ. & Ellialtıoğlu, S. (1994). Effect of PEG (Polyethylene Glycol 6000) treatment on the germination and emergence of pepper and eggplant seeds at low temperatures. *ISTA/ISHS Symposium, Technological Advances in Variety and Seed Research 31 May-3 June 1994, Wageningen/Netherlands.*
- Yıldız, M., ve Aksoy, Ü. (2019). Patlıcan Tohumlarında Termo Priming Uygulamalarının Fide Kalitesi ve Performansı Üzerine Etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 35-39.
- Zhou, J. Wang, Y, and Jahufer, Z. (2013). Location and chemical composition of semi-permeable layer of forage seeds. *Bangladesh J Bot* 42:23–29. <https://doi.org/10.3329/bjb.v42i1.15802>