
SERİ

B

CİLT

46

SAYI

1-2-3-4

1998

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



ORMAN AĞAÇLARINDA KÖKLERİN BÜYÜMESİ VE YENİLENMESİ

Doç. Dr. Hüseyin DİRİK¹⁾

Kısa Özet

Genel bitki fizyolojisi içinde karmaşık prosesleri kapsayan köklerin büyümesi ve yenilenmesi, çeşitli içsel ve dışsal faktörlerin kontrolü altında gerçekleşir. Ormancılıkta, özellikle fidan yetiştirme ve ağaçlandırma çalışmalarında köklerin büyüme ve yenilenme mekanizmalarının bilinmesi, kültürlerin başarısı bakımından büyük önem taşımaktadır. Makale kapsamında orman ağacı türlerinde köklerin büyüme ve yenilenmesi konularında yakın zamana değin gerçekleştirilmiş araştırmalardan elde edilen sonuçlar esas alınarak, çeşitli türlere göre köklerin yenilenme ve büyüme mekanizmalarının açıklanmasına ve uygulamalara ışık tutmaya yönelik konu ile ilgili irdeleme ve değerlendirmelere yer verilmiştir

1. GİRİŞ

Kökler, bir bitki ekseninin toprak altında yer alan bölümünü oluşturur. Bu nedenle de yaşam süreci boyunca gözlemlenmeleri ancak özel çalışmalarla ve kısıtlı ölçüde mümkün olduğundan, kökler ve onların büyüme ve gelişmeleri konusundaki bilgiler genel olarak sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık çeşitli amaçlarla kültürlerle konu edilen odunsu bitkilerde, toprak üstü organların büyüme, gelişme ve verimleri konusunda çok yönlü ve ayrıntılı bilgiler mevcuttur. Ancak toprak üstü organların büyüme ve gelişmesinin büyük ölçüde kökler tarafından kontrol edildiği dikkate alındığında, bu bilgilerin kök fizyolojisi, kök morfolojisi ve kök sak ilişkileri kapsamındaki ayrıntılı bilgilerle desteklenmesi ve birlikte değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Orman ağaçlarında köklerin büyüme ve gelişme mekanizmasının tanınması, daha fidecik aşamasında iken önem kazanmakta ve tüm yaşam süreçleri boyunca kültürlerin başarısı ve verimi bakımından bu önemini korumaktadır. Bu nedenle çeşitli orman ağacı türlerinde kökler konusunda çok sayıda araştırma ve bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarla köklerin büyüme ve gelişme fizyolojisi, kök morfolojisi ve kök morfogenezi, kök ortam etkileşimleri, köklerin işlevleri ve yetiştirme amaçlarına göre köklerin ıslahı konularında

¹⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı

önemli bilgiler ortaya konmuştur. Hemen belirtmek gerekir ki, bu bilgiler çoğunlukla deneysel düzeyde ve köklerin belirli bir yönünü veya gelişimlerinin belirli bir zaman dilimini kapsayan sınırlı verilerdir.

Orman ağacı türlerinde özellikle köklerin büyümesi ve yenilenmesinin yıllık ritminin tanınması ve de büyüme ve yenilenme üzerinde etkili olan ortam faktörlerinin etkilerinin bilinmesi, fidan aşamasında ön plana çıkmaktadır. Zira köklerin büyüme ve yenilenme mekanizması hem fidanlık, hem de ağaçlandırma çalışmalarında başarı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu makale ile genel olarak orman ağacı türlerinde karmaşık fizyolojik prosesleri kapsayan köklerin büyümesi ve yenilenmesi konusunda elde edilmiş araştırma sonuçları değerlendirilerek fidanlık ve ağaçlandırma uygulamalarının başarısı bakımından köklerle ilgili konulara ışık tutmak amaçlanmıştır.

2. KÖKLERİN İŞLEVLERİ

Bir kök sisteminin en öncelikli işlevi, bitkiyi toprağa bağlamaktır. Genç köklerde sklerankimalaşmış ksilem, yaşlı köklerde de sklerankimanın gelişmesi, bir ağacın toprağa bağlanması ve mekanik direncinin sağlanmasında temel görevi üstlenmektedir. Yine, kök sistemlerinin yan köklerle gerçekleştirdiği dallanmaların yoğunluğu da, bitkilerin toprağa bağlanmasına azımsanmayacak katkılar sağlamaktadır.

Kökler, bitkinin büyüme ve gelişmesi için gereksinim duydukları su ve mineral besin elementlerinin topraktan alımını gerçekleştirmektedir. Su ve mineral besin tuzlarının alımı, esasen kök sistemindeki genç köklerin uç kısımlarında gerçekleşir. Bir kök ucu başlıca 4 kısımdan oluşur (KOZLOWSKI / KRAMER 1979): en uçta kök başlığı, hemen üst tarafında meristematik yöre, onun üst kısmında da hücre büyüme yöresi ve kök tüyleri yöresi yer alır. Aktif kök uçlarının belirtilen bölümleri içerisinde en fazla su alımını gerçekleştiren yer, kök tüyleri yöresidir. Yapılan araştırmalara göre, meristematik yöre mineral besin tuzlarının esas absorbe edildiği yer olmakla birlikte topraktan su alımında da etkili olmaktadır (CARLSON / MILLER 1990)

Yapraklarda sentezi gerçekleştirilmiş karbonhidratların depo edilmesi, köklerin diğer önemli bir işlevidir. Bu görev ksilem ve floem parenkiması tarafından üstlenilmektedir.

Kökler, su ve mineral besin elementlerinin alımı yanında, gerçekleştirdikleri kök basıncı ile bunların iletim demetleri vasıtasıyla diğer organlara taşınmasında aktif rol oynarlar. Auxin, sitokinin, gibberellin gibi büyüme hormonlarının sentezi ya da aktif forma dönüştürülmesi, kökler tarafından gerçekleştirilir (KOZLOWSKI / KRAMER 1979). Üstlerindeki lentiseller vasıtasıyla bitkinin gaz alış verişine katkıda bulunurlar. Nihayet adventif köklerle bitkilerin vejetatif yolla üremesini ve çoğalmasını sağlarlar.

3. KÖKLERİN BÜYÜMESİ

Köklerin büyümesi yer çekimi etkisi altında gerçekleşir. Tohumların çimlenmesi ile birlikte öncelikle primer kök olarak tanımlanan birincil kökler oluşur. Birincil kökler uzayıp, kalınlaşırlar ve üzerindeki küçük çıkıntılardan ana kök eksenine paralel yakın yönde uzanan ikincil kökleri geliştirirler. İkincil köklerin gelişimini zamanla üçüncül ve dördüncül köklerin gelişimi izler ve böylece köklerin dallanması gitgide gelişerek kök sistemi oluşur. Ana köklerin

üzerinde oluşan yan köklerin sıklığı ve sıralanmaları, türlere ve taksonlara göre değişen farklı morfolojiler sergilerler. Ancak hemen belirtmek gerekir ki, köklerin dallanması gövdeye oranla daha düzensizdir. Yan kökler zamanla uzama, kalınlaşma ve dallanmalarını gerçekleştirerek yapı ve işlevleri bakımından büyük ölçüde ana köklerin özelliklerine kavuşurlar.

Daha önce de değinildiği gibi, bir bitki kökünün uzunluğuna kesiti mikroskop altında incelendiğinde, en uçta meristematik dokularla, meristematik yöreyi örten ve büyüme esnasında kök ucunu fiziksel zararlara karşı koruyan kök başlığı yer alır. Köklerin uzaması, söz konusu uç (apikal) meristeminin mitoz bölünme ile çoğalarak oluşturduğu yeni kökler tarafından gerçekleştirilir. Yan köklerin oluşum ve gelişimi ise, ana kökler üzerindeki çıkıntılarla beliren içsel meristem dokularından gerçekleşir. Oluşan ana ve yan kökler, zamanla kambiyum tabakalarını meydana getirerek enine büyüme ya da çap kalınlaşmasını gerçekleştirirler. Böylece bir kök sisteminin oluşumu ve gelişimi çeşitli içsel ve dışsal faktörlerin etkisi altında aktif haldeki kök uçlarının sayısına, bu köklerin uzama ve kalınlaşma hızına bağlı olarak gerçekleşir.

Karmaşık fizyolojik prosesleri kapsayan köklerin büyümesi üzerinde etkili olan içsel ve dışsal faktörler aşağıda ana hatları ile açıklanmıştır.

3.1 Köklerin Büyümesini Etkileyen İçsel Faktörler

3.1.1 Köklerin Yıllık Büyüme Ritimleri

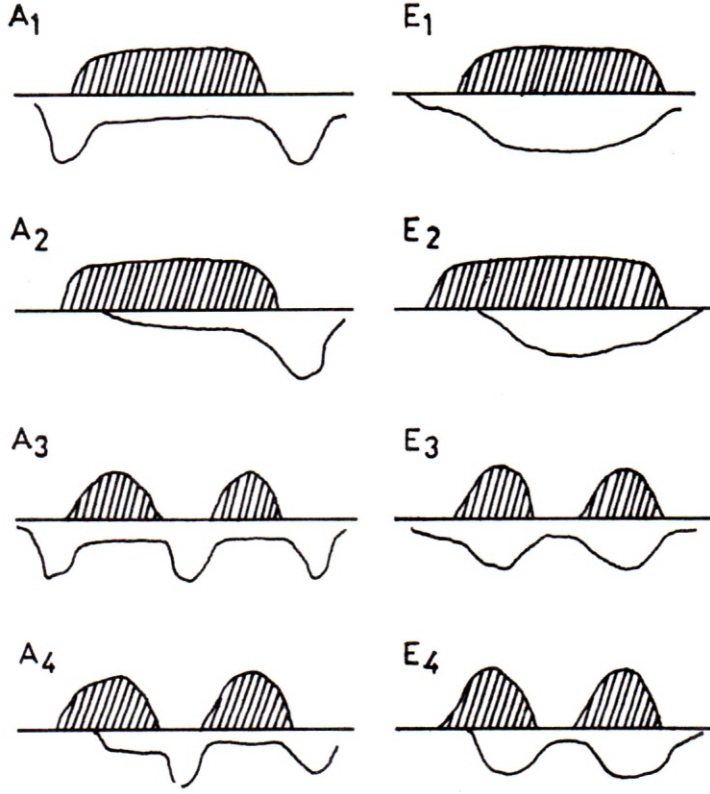
Köklerin büyümesi, esasen bitkilerin genel büyüme fizyolojilerinin bir parçasıdır. Bitkilerin büyümesi, ışık alımı, gün uzunluğu, sıcaklık ve yağış gibi dış etkenlerin dönemsel değişimine göre ayarlanmış bir seyir izlemekte ve bu seyir içinde büyüme için elverişli olan ve olmayan dönemlere göre yaşam döngüsünün geçici olarak düzenlendiği birçok kritik geçiş evreleri yer almaktadır (LARCHER 1995). Belirtilen dönemlere ve geçiş evrelerine göre köklerin büyümeleri de belirli ritimleri izlemekte ve genel olarak odunsu bitkilerde köklerle toprak üstü organların karşılıklı büyüme ilişkileri 2 ana ritim grubu oluşturmaktadır (RIEDACKER1976 a):

- eş anlı büyüme ritmi,
- ardışık büyüme ritmi.

Eş anlı büyüme ritminde kökleri büyümesi, bitkilerde tomurcukların aktif ve sürgünlerin büyüme olduğu vejetasyon döneminde gerçekleşirken, ardışık büyüme ritminde ise sürgün büyüme döneminde köklerin büyümesi tamamen durmakta ya da belirgin ölçüde azalmaktadır. Her iki büyüme ritmi, kendi içlerinde alt ritim tipleri göstermektedir (Şekil 1).

Gerek eş anlı, gerekse ardışık büyüme ritimlerinin 1. ve 3. alt tiplerinde kökler sürgünlerden önce ya da birlikte büyümeye başlarken, 2. ve 4. alt tiplerinde köklerin büyümesi sürgün büyümesinin başlamasından sonra gerçekleşmektedir. Eş anlı büyüme ritminde sürgünlerin büyümesi köklerin büyümesine engel olmazken, ardışık büyüme ritminde sürgün büyüme evrelerinde köklerin büyümesi belirgin ölçüde azalmaktadır.

Genel olarak yaprağını döken türler, kök ve sak büyümesi bakımından eş anlı bir büyüme ritmi göstermektedir. Konifer türleri daha çok ardışık bir ritim sergilemekte, ancak bazıları eş anlı büyüme ritmi de gösterebilmektedir. Bir vejetasyon döneminde sadece bir tek yıllık sürgün oluşturan ve sürgün gelişimini vejetasyon döneminin ilk yarısında tamamlayan kısa süreçli monosiklik konifer türleri (örneğin *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*) ardışık gelişimli



Şekil 1: Köklerle toprak üstü organların eş anlı (E) ve ardışık (A) büyüme ritimlerinin şematik olarak gösterilişi (RIEDACKER 1976 a)

bir kök sak büyüme ritmine sahiptir. Bir vejetasyon döneminde birden çok sürgün oluşturan polisiklik gelişimli konifer türleri ile (örneğin *Pinus brutia*, *Pinus radiata*) tek yıllık sürgün oluşturan ancak sürgün büyümesini vejetasyon döneminin tamamına yayan uzun süreçli monosiklik konifer türleri (örneğin *Pinus pinea*) ise eş anlı bir kök sak büyüme ritmine sahiptir. Ancak hemen belirtmek gerekir ki, türlerin gösterdiği eş anlı veya ardışık büyüme ritimleri, içinde buldukları ekolojik koşullara göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca aynı büyüme ritmini sergileyen türler arasında da büyüme döneminin uzun veya kısa olmasına bağlı farklılıklar görülebilmektedir.

Kök sak büyüme ritmi bakımından ardışık bir seyir izleyen *Pseudotsuga menziesii* (KRUEGER / TRAPPE 1967; GIREU 1986; GRIEU / AUSSENAC 1988) *Pinus nigra* Arn. ssp *laricio* ve ssp *nigricans* (ARBEZ 1971; RIEDACKER / ARBEZ 1983; EL NOUR 1984) *Cedrus atlantica* (RIEDACKER 1978; FINKELSTEIN 1983; EL NOUR 1984; GRIEU / AUSSENAC 1988) *Pseudotsuga macrocarpa* (GRIEU / AUSSENAC 1988) gibi taksonlar üzerinde yapılan araştırmalarda, tomurcuk ve sürgün gelişiminin aktif olduğu büyüme döneminde köklerin büyümesinin oldukça sınırlı ve az olduğu belirlenmiştir. Bu dönem genel olarak ılıman iklim kuşağında türlere göre nisan, mayıs aylarından başlayarak haziran sonu, temmuz ortasına kadar

devam etmektedir. Söz konusu türler için büyüme dönemini izleyen diğer fizyolojik aşama, temmuz sonundan eylül ortasına kadar olan süreyi kapsayan uykuya giriş aşamasıdır. Bu aşama ile birlikte sürgün büyümesi belirgin ölçüde azalır ve nihayet durur. Ancak sürgünlerin apikal meristemlerinde mitotik aktivite devam etmekte olduğundan belirli bir uyku derinliğine ulaşılamamıştır. Nitekim bu fizyolojik aşamada fidanlar yapay olarak uzun gün koşullarına maruz bırakılırlarsa, oluşmuş olan tomurcuklar yeniden gelişmeye başlar ve sürgünler tekrar büyümeye geçerler. Buna karşılık köklerin büyümesi uykuya giriş aşaması ile birlikte belirgin ölçüde artar ve güçlenir. Sürgün büyümesi ve uykuya giriş aşamalarını, derin uyku aşaması izler. Derin uyku aşamasında sürgün büyümesi tümüyle durmuş ve kış tomurcukları tamamen oluşmuş durumdadır. Fidanlar, uykuya giriş aşamasında olduğu gibi yapay olarak uzun gün koşullarına yerleştirilseler bile, uykunun gitgide derinleştiği bu evrede tomurcuklar herhangi bir gelişme gerçekleştiremezler. Buna karşılık derin uyku aşamasında köklerin uzaması belirgin bir artış gösterir. Ancak kısa gün koşullarının hüküm sürdüğü bu evrede, auxin gibi büyüme hormonlarının üretilmemesinin, yan köklerin uzamasını azalttığı da belirtilmektedir (RIEDACKER 1976 a). Derin uyku evresini takip eden uyku sonu evresinde ise, tomurcuklar henüz uyku evresinde gözükseler de gitgide uyku yoğunluğu azalır ve tomurcuklarda mitotik bölünmeler oluşmaya başlar. Ilıman iklim kuşağında yaklaşık olarak aralık ayı sonlarında başlayan bu evrede, kökler içsel ritim bakımından potansiyel büyüme gücüne sahiptirler, ancak özellikle düşük toprak sıcaklıkları nedeniyle potansiyel büyüme güçlerini sınırlı ölçüde kullanabilirler.

Eş anlı büyüme ritmine sahip yaprağını döken türlerde ise, köklerin büyüme ritimleri ve bunun toprak üstü organlarının büyümesi ile ilişkileri daha farklıdır. Eş anlı büyüme ritmi gösteren türlerde köklerin büyümesi, genel olarak toprağın ısındığı ilkbaharda tomurcukların patlaması ile aynı dönemde başlar. Köklerin büyümesinin başlangıcı türlere göre tomurcuk faaliyetinin biraz öncesine veya sonrasına rastlayabilir. İlkbaharda başlayan bu büyüme, yaprakların dökülmesi sonrasında toprak sıcaklığının iyice düştüğü sonbahar ortası ya da sonlarına kadar devam eder (REICH / TESKEY / JOHNSON / HINCKLEY 1980; EL NOUR 1984; EL NOUR / RIEDACKER 1984). Ancak bazı türlerde ve yaz kuraklığının hüküm sürdüğü ekolojik koşullarda, ilkbaharda başlayan kök büyümesi yaz ortasında durur, sonbaharda yağışlar sonrasında toprağın yeterli nem içeriğine kavuşması ile birlikte ikinci bir kök büyüme dönemi başlar. Bu dönem, toprak sıcaklığının kök büyümesi için yeterli olmayan düzeylere inmesi ile birlikte son bulur. Bununla birlikte, uygun yetişme ortamı koşullarında sürgün büyümesinin yıl boyunca duraksamadığı *Eucalyptus* ssp. gibi bazı tropik ve subtropik türlerde, kök büyümesinin de azalan ve artan tempolarla kesintisiz devam etmesi mümkündür (RIEDACKER 1976 a). Genel olarak kökün ve sakın eş anlı olarak büyüdüğü dönem içinde, türlere göre bir vejetasyon döneminde bir veya birden fazla sürgün oluşumu görülebilir. Bu gibi türlerde sürgün gelişiminin kuvvetli olduğu veya 2., 3. sürgün oluşumunun gerçekleştiği zaman dilimlerinde kök büyümesinde belirgin bir azalma görülmektedir. Bu durum, kök ile sak arasındaki hormonotrofik rekabetin bir sonucu olarak açıklanmaktadır (EL NOUR 1984). Bununla birlikte, sürgün büyüme döneminde eş anlı büyüme ritmine bağlı olarak düşük ya da yüksek tempoda gerçekleşen kök büyümesini esasen yan kökler oluşturmada, sürgün büyümesinin aktif olduğu bu dönemde kazık kökün uzaması durmaktadır.

Köklerle toprak üstü organları arasında mevsimsel büyüme ritmi gibi günlük bir büyüme ritmi de söz konusudur. Gerek eş anlı, gerekse ardışık büyüme ritmine sahip türlerde, köklerin büyümesi daha çok geceleyin gerçekleşirken sürgün büyümesi gündüz gerçekleşmektedir. Köklerin büyümesi türlere göre geceleyin gündüze nazaran 1.5 - 3 kat daha

fazla olmaktadır. HEAD a atfen, *Prunus* türlerinde köklerin büyümesinin gün içinde 16.00 – 24.00 saatleri arasında en yüksek, 08.00 – 16.00 saatleri arasında ise en düşük düzeyde gerçekleştiği bildirilmektedir (RIEDACKER 1976 a).

3.1.2 Diğer İçsel Faktörler

Eş anlı büyüme ritmi gösteren yapraklı türlerde, ilkbaharda başlayan kök büyümesi üzerinde tomurcukların önemli etkileri söz konusudur (RIEDACKER 1976 a). Yapılan çeşitli denemelere göre, bu dönemde bitki üzerindeki tomurcukların elimine edilmesi, köklerde büyümenin durmasına yol açmaktadır. Ancak bu etki yapraklanma sonrasında ortadan kalkmaktadır. Ağaçların yapraklı olduğu dönemde terminal tomurcuğu taşıyan sürgünün elimine edilmesi kök büyümesini engellemekle birlikte yeni kök oluşumunu olumsuz yönde etkilemekte ve durdurmaktadır. *Eucaliptus* gibi uygun yetiştirme ortamı koşullarında yıl boyunca kök ve sürgün büyümesini devam ettiren türlerde ise, söz konusu dönemde tomurcukların elimine edilmesi yalnızca kök kalınlaşmasını durdurmaktadır (RIEDACKER 1976 a). Ardışık büyüme ritmi gösteren iğne yapraklı türlerde ise, köklerin büyümesi ve yenilenmesi üzerinde yapraklı türlerde olduğu gibi tomurcukların herhangi bir etkisi söz konusu değildir.

Çoğu yapraklı orman ağacı türünde köklerin büyümesi, bitkinin yapraklı dönemde olmasına ve dolayısıyla yapraklar tarafından gerçekleştirilen özümlemenin aktivitesine sıkı bir bağlılık gösterir. Bu nedenle bitkinin yetiştirme ortamında fotosentez kapasitesini düşüren ışık veya CO₂ yetersizliklerinin söz konusu olması, köklerin büyümesinin belirgin ölçüde azalmasına neden olmaktadır.

Genel olarak yüksek organizasyonlu bitkilerde karbonhidratları üreten toprak üstü organlarla topraktan su ve mineral besin elementlerinin alınımı gerçekleştiren kökler arasında büyüme bakımından bir denge bulunmaktadır. Bu denge bir önceki bölümde açıklandığı gibi, türlere göre köklerin ve toprak üstü organlarının büyüme için bitki tarafından alınmış ve sentez edilmiş elementlerin aynı anda ortak kullanımı ile eş anlı bir büyüme, ya da birbirini izleyen farklı zaman dilimlerinde kullanımı ile ardışık bir büyüme şeklinde oluşturulmaktadır. İğne yapraklı türlerde toprak üstü organları ile kökler arasındaki ardışık büyüme ritmi, THROUGHTON tarafından geliştirilen "fotosentetik ürünlerin öncelikle üretim yerine en yakın organlar tarafından tüketileceği" teorisi (nearest sink theory) ile açıklanmaya çalışılmıştır (RIEDACKER 1976 a; EL NOUR 1984). Nitekim *Pinus nigra* ssp. *laricio* (ARBEZ 1971), *Cedrus atlantica* (RIEDACKER 1978) *Cedrus atlantica* ve *Pinus nigra* ssp. *laricio* (EL NOUR 1984) taksonları üzerinde yapılan araştırmalarda, köklerin büyümesi ve yenilenmesinin tomurcukların patladığı ilkbahar döneminde durduğu, ilk sürgün büyüme evresinin tamamlanmasından sonra tekrar başladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte ardışık büyüme ritmine sahip bu gibi türlerde, sak büyüme döneminde köklerin karbonhidratları kullanabilme yeteneklerinin azalmış olması da ardışık büyüme ritminin oluşumunda etkili olmaktadır (RIEDACKER 1976 a). Eş anlı büyüme ritmi gösteren türlerde de, daha önce değinildiği gibi, vejetasyon dönemi içinde sürgün büyümesinin ve yeni sürgün oluşumunun güçlü olduğu zaman dilimlerinde köklerin büyümesi oransal olarak azalmakta, sürgün gelişiminin ve oluşumunun azaldığı dilimlerde ise artmaktadır.

Yıllık büyüme ve yenilenmelerini toprak üstü organları ile eş anlı veya ardışık bir ritimde gerçekleştiren kökler, ağaçların yaşlanması ile birlikte gitgide büyüme güçlerini kaybetmektedir. Genel olarak 10 farklı fizyolojik gelişme evresinden oluşan odunsu bitkilerin yaşam süreçlerinde, 8. gelişme evresinden itibaren köklerin yenilenme ve büyüme yetenekleri büyük ölçüde kaybolmakta, köklerde başlayan zayıflama ve çürümeleri tepe tacında oluşan kurumalar ve ölüm izlemektedir (RAIMBAULT / DE JONGHE / TRUAN / TANGUY 1995).

3.2 Köklerin Büyümesini Etkileyen Dış Faktörler

3.2.1 Toprak Sıcaklığının Köklerin Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Köklerin büyümesi, toprak sıcaklığı ile sıkı bir ilişki içindedir. Ilıman kuşakta yayılış gösteren birçok tür üzerinde yürütülen araştırmalar, köklerin uzamaya başlayabilmesi için toprak sıcaklığı sınır değerinin +2, +4°C olduğunu ortaya koymuştur. Bu sınır değerler genel olarak subtropik iklim kuşağında yetişen türlerde daha yüksek, soğuk iklim kuşağında yetişen türlerde ise daha düşük düzeydedir. Bu değer, örneğin subtropik zonda yetişen *Citrus* türlerinde + 11°C, *Eucaliptus* türlerinde + 9°C iken, soğuk iklim zonunda yetişen *Abies* ve *Picea* türlerinde + 2, + 4°C dir (RIEDACKER 1976 a). *Quercus pedunculata* fidanları ile gerek doğal, gerekse kontrollü koşullarda yapılan bir araştırmada da, köklerin büyümesinin, toprak sıcaklığının + 18°C ye ulaşmasından sonra belirgin artış gösterdiği, + 25°C de en yüksek düzeye ulaştığı, + 15°C nin altında azalmaya başladığı ve + 5°C ye düştüğünde ise büyümenin tamamen durduğu belirlenmiştir (EL NOUR / RIEDACKER 1984). Bununla birlikte, tüm türlerde köklerin büyümeye başlayabildiği minimum sıcaklık değerleri toprak üstü organların büyüme ve gelişmeleri için gerekli olan minimum sıcaklık değerlerinden daima düşüktür.

Köklerin büyümesi için optimum sıcaklık değerleri ise, türlere göre değişmekle birlikte genel olarak + 20°C nin üstündeki değerlerdir. Ancak deneysel çalışmalarla belirlenen bu optimum sıcaklık değerlerine doğal koşullarda ulaşılabilmesi pek nadirdir. Ayrıca söz konusu optimal toprak sıcaklığı değerlerinin dengeli bir kök sak gelişimi bakımından uygun olmadığı ve toprak sıcaklığının yükselmesi ile birlikte kök sak arasındaki ağırlık oranının azaldığı belirlenmiştir. Nitekim + 30°C nin üzerindeki toprak sıcaklıklarında köklerin gerek ağırlık artımının, gerekse çap kalınlaşmasının belirgin düzeyde azaldığı, 40°C nin üstünde ise bozulduğu ortaya konmuştur (RIEDACKER 1976 a).

Toprak sıcaklığının köklerin büyümesi üzerindeki etkileri şüphesiz bağımsız bir etken değildir. Köklerin büyümesi toprak sıcaklığı gibi dış faktörlerle birlikte çeşitli içsel faktörlerin ortak etkilerinin kontrolü altındadır. Genelde toprak sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde köklerin büyümesinin azalması üzerinde düşük toprak sıcaklıkları yanında bitkilerin fizyolojik fonksiyonlarındaki dönemsel değişiklikler de etkili olmaktadır.

Toprak sıcaklığı, kök morfogenezleri üzerinde de etkilidir. Aynı kök sistemi üzerindeki yan köklerle kazık kök ve diğer dikey gelişen köklerin büyümeye başladıkları sıcaklık değerleri birbirinden farklıdır. Yüzeysel ve yatay gelişme gösteren kökler dikey gelişen köklere göre büyümeye başlayabilmek için genel olarak 4 - 5°C daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla dikey gelişen kökler, yatay ve yüzeysel gelişme gösteren köklere göre daha erken büyümeye başlayabilmektedir. Bununla birlikte genel olarak ilkbaharda alt toprak katmanları yüzeysel toprak katmanlarına göre daha geç ısınmakta, sonbaharda ise daha erken soğumaktadır (KACAR 1995).

Toprak sıcaklıklarının hava sıcaklıklarına göre kışın daha yüksek, yazın da daha düşük olduğu iyi bilinir. Buna paralel olarak bitkilerin kök sistemlerinin dayanabildiği düşük sıcaklık düzeyleri toprak üstü organlarına göre çok daha yüksektir. Genel olarak ılıman iklim kuşağında yetişen orman ağacı türlerinde, köklerin -5°C ve altındaki sıcaklık düzeylerine dayanamadıkları ve canlılıklarını kaybettikleri belirtilmektedir (GÉNÉRÉ 1997).

3.2.2 Topraktaki Su İçeriğinin Köklerin Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Genel olarak kökler, toprakta tarla kapasitesinin % 30 - 40 ı oranına kadar olan su içeriği düzeylerinde yaşama ve gelişmelerini devam ettirebilmektedir. Ancak bu düzeyin topraktaki yatay ve dikey yöndeki heterojenite, toprak derinliğine bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikler ve de kök ile sak arasındaki su ilişkilerinden kaynaklanan nedenlerle kesin olarak belirtilebilmesi mümkün değildir. Zira kurak dönemlerde ya da toprakta su yetersizliği durumlarında yüzeysel gelişme gösteren kökler büyüme ve faaliyetlerini durdururlarken, toprağın derinliklerinde yayılan dikey gelişimli kökler hem kendi büyümelerini, hem de bitkinin toprak üstü organlarının büyümelerini devam ettirebilirler. Ayrıca bu gibi hallerde derin ve nemli toprak katmanlarında yayılan kökler tarafından topraktan emilen su, yüzeysel ve kuru toprak katmanında yayılan köklere de transfer edilerek bu köklerin canlılıklarının devam etmesi için fizyolojik destek sağlamaktadır. Bir kök sisteminde kazık kök ile yan köklerin toprakta su geriliminin artmasına karşı gösterdikleri tepkiler farklı olmaktadır. Genel olarak yeterli toprak nemi koşullarında kök sisteminin büyümesi ve gelişmesi büyük ölçüde lateral kökler tarafından gerçekleştirilmekte, kazık kökün büyüme ve gelişmesi ise daha ziyade yüzeyden itibaren toprakta su geriliminin artması ya da su içeriğinin azalması ile belirginleşmektedir. Ancak toprak su geriliminin artması total olarak kök sisteminin büyümesini yavaşlatmakta ve belirli bir düzeye ulaştığında önce toprak üstü organların büyümesi durmakta, köklerde büyümenin durması ise saka göre daha yüksek gerilim düzeylerinde gerçekleşmektedir. Ayrıca yapraklar tarafından özümlenen karbonhidratlar, topraktaki su geriliminin arttığı durumlarda toprak üstü organlardan köklere transfer edilmektedir. Köklerde biriken karbonhidratlar da tekrar nemli toprak koşullarına kavuşulduğunda yoğun ve hızlı bir kök yenilenmesi ve büyümesini oluşturmaktadırlar (ABOD / SANDI 1983; EL NOUR 1984; KAUSHAL 1987; LARCHER 1995). Nitekim step ve çöllerde yetişen bitkiler, oldukça uzun süren kurak dönem esnasında köklerinde biriktirdikleri karbonhidratlar sayesinde ilkbaharda kısa süreli yağışlar sonrasında oldukça yoğun bir kök gelişimi gerçekleştirmektedirler. Bu nedenle nadir düşen kısa süreli yağışlar sonrasında birkaç saat içinde hızla gelişen köklere "yağmur kökleri" denilmektedir (OPPENHEIMER 1962).Topraktaki su noksanlığı nedeniyle köklerde büyümenin tamamen durması ise ılıman kuşakta yayılış gösteren türlerde sürekli solma noktası kabul edilen - 15 barlık toprak su gerilimi düzeylerinde başlamaktadır (KRAMER / KOZLOWSKI 1979). Buna karşılık toprakta geçici ya da kalıcı durgun su oluşumlarına neden olan su fazlalığı, başlangıçta sak büyümesini azaltan bir su stresi şeklinde etkili olmakta, bu süre uzadığında da bitki için ölüm söz konusu olmaktadır (GRAINER / LEVY 1981).

3.2.3 Topraktaki Oksijen Miktarının Köklerin Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Köklerin yaşama ve büyümeleri için ihtiyaç duydukları bir diğer element de O_2 'dir. Zira kökler normal fizyolojik fonksiyonlarını devam ettirebilmek için solunum yapmak durumundadırlar. Bu nedenle kök yayılış ortamının belirli bir oranda boşluk hacmine sahip olması ve bu boşluğun da yeterli bir oranının su yerine hava ile dolu olması gerekir. Köklerin normal büyüme ve gelişmelerini gerçekleştirebilmek için boşluk hacmi toprak türüne göre %5 - 40 arasında değişmektedir (ÇEPEL 1985). Toprağın havası kök sistemlerinin gelişmesi üzerinde başlıca 3 yönüyle etkili olmaktadır. Bunlar toprak havasındaki O_2 kapsamı, toprak havasındaki CO_2 kapsamı ve toprak havasında bulunan anaerobik parçalanma sonucu oluşmuş H_2S , CH_4 ve H miktarlarıdır (KACAR 1995). İyi bir kök gelişiminin sağlanabilmesi için bu maddelerden CO_2 ve H_2S ün toprakta oldukça düşük konsantrasyonlarla % 1 in altında olması zorunludur. Boşluk hacmini dolduran gaz karışımındaki O_2 oranının da köklerin büyümesi üzerinde oldukça önemli etkileri söz konudur. Bu oranın % 10 un altına düşmesi, köklerin büyümesini belirgin bir şekilde

azaltmakta ve % 2 nin altında ise büyüme tamamen durmaktadır. Ancak bazı türlerde köklerin solunumu için ihtiyaç duyulan O₂, gövde ve dallarda yer alan lentiseller vasıtasıyla da karşılanabilmektedir. Lentisellerden bitkiye nüfuz eden O₂ hücreler arası (interselüler) boşluklarla kök uçlarına ulaşabilmektedir. Yine boşluk hacminin büyük ölçüde su ile dolu olduğu ve dolayısıyla O₂ miktarının çok kısıtlı olduğu durumlarda köklerin toprak suyundaki O₂'den de faydalanması mümkün olabilmektedir.

Yeterli toprak havasına sahip koşullarda oluşmuş ve gelişmiş kökler, hava kapasitesinin yetersiz olduğu anoksik koşullara her zaman uyum gösteremezler. Bu gibi durumlarda *Platanus*, *Fraxinus*, *Alnus*, *Pinus contorta* gibi türler yeni kökler geliştirirler ve bu yeni kökler lentisellerle bitkiye nüfuz eden O₂'den büyük ölçüde faydalanma, kök yayılış alanını okside etme ve laktik asit ve etanol üretimi ile anaerobik bir solunum yapma yeteneği gösterirler (RIEDACKER 1976 a).

Kökler, aktif olmadıkları dönemlerde O₂ kıtlığına daha dayanıklıdır. Bu dönemlerde yetersiz O₂ koşullarında da canlılıklarını ve yaşamsal faaliyetlerini belirli bir süre devam ettirebilirler. Bu süre türlere göre büyük değişiklik gösterir. *Salix*, *Populus*, *Alnus*, *Platanus*, *Fraxinus*, *Liquidambar* gibi cinslere ait türler genel olarak O₂ yetersizliğine en fazla dayanıklılık gösteren türlerdir.

3.2.4 Toprak Tekstürünün Köklerin Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Genel olarak odunsu bitkiler yeterli boşluk hacmine sahip, havalanması iyi olan tekstür özellikleri gösteren topraklarda daha iyi gelişme gösterirler. Esasen her ağacın, ait olduğu türüne özgü bir kök sistemi söz konusudur. Bununla birlikte üzerinde yetiştiği toprak tekstürüne göre kök sisteminin gelişiminde farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin sığ kök sistemi geliştiren türler yeterli gözenek hacmine sahip derin topraklarda kök sistemlerini derine giden bir yapıda geliştirmektedir. Tersine ağır killi topraklarla taban suyunun yüksek olduğu veya alt tabakalarda geçirimsiz katmanların yer aldığı topraklarda doğal olarak derine giden kök gelişimi sınırlanmakta ve daha yüzeysel bir gelişim oluşmaktadır. Normal koşullarda yetişmiş ve olgun çağa ulaşmış ağaçlarda, büyüme ve yenilenme yeteneğine sahip besleyici köklerin yaklaşık 1/4'ü oldukça sığ bir katmanda yer alır. Bu oran üst toprak zonundaki organik madde miktarının artmasıyla daha da yükselir (ÜRGENÇ 1998).

Toprağın tekstürü, köklerin çap kalınlaşması üzerinde de etkili olmaktadır. Genel olarak geçirgen ortamlarda gelişen kökler az geçirgen ortamlarda gelişen köklere göre daha ince, buna karşılık dallanma ve uzamaları ise daha yoğun olmaktadır (RIEDACKER 1976 b; KACAR 1995). Toprak tekstürünün köklerin kalınlaşması üzerindeki bu etkileri özellikle kazık kök üzerinde belirginleşmektedir. *Pinus nigra* Arn var. *corsicana*, *Larix leptolepis*, *Pseudotsuga menziesii*, *Betula pendula* ve *Alnus incana* taksonları üzerinde yapılan bir araştırmada, tekstüre bağlı olarak toprak geçirgenliğinin azalmasının, köklerin büyümesini ve dallanma yoğunluğunu azaltmakla birlikte, aynı zamanda fidanların sak gelişimini de istatistiksel önemlilik düzeylerinde azalttığı belirlenmiştir (BERBEN 1975). Kaynak incelemesine dayalı başka bir çalışmada da (OMİ 1985), çok sayıda iğne yapraklı türler üzerinde yürütülen bir çok araştırmada benzer sonuçların elde edildiği belirtilmektedir. *Cedrus atlantica* fidanları üzerinde yapılan bir diğer araştırmada da, yeterli havalanma koşullarına sahip ortamlarda yetişen fidanlarda köklerin yoğunluğunun artması yanında, fidanların özümleme ve transpirasyon kapasiteleri ile büyüme performanslarının da arttığı belirlenmiştir (GUEHL / FALCONNET / GRUEZ 1989).

Yukarıda değinilen toprak sıcaklığı, toprağın tekstürü, hava ve su içeriği gibi dış ortam faktörleri yanında, köklerin büyümesi üzerinde topraktaki besin elementlerinin de şüphesiz etkileri söz konusudur. Burada topraktaki besin elementlerinin köklerin büyümesine olan etkileri üzerinde durulmamıştır. Ancak yapılan araştırmalara göre, genel olarak başta azot olmak üzere topraktaki besin elementlerinin kökler tarafından alınabilirliğinin yıl içindeki dönemselliği ile kök – sak büyüme ritminin yıllık seyri arasında da kuvvetli ilişkiler bulunmaktadır (BOUDRU 1992).

4. KÖKLERİN YENİLENMESİ

Bir kök sistemini meydana getiren köklerin uç kısımlarında kök apikal meristemi olarak tanımlanan üretken dokular bulunur. Bu dokular mitoz bölünme ile çoğalarak yeni kökçükler oluştururlar. Oluşan kökçükler de önce uzayarak, daha sonraki aşamalarda da kalınlaşarak kök sisteminin yenilenme ve büyümesini gerçekleştirirler. Kök sistemlerinin yenilenmesini sağlayan meristem dokular kök uçları (apikal meristem) ile birlikte daha önceden uzamasını tamamlayarak ligninleşmiş kökler üzerinde de (içsel meristem) yer alırlar. Bunlar, bitki kök yenilenmesi için uygun fizyolojik gelişme evresine geldiğinde ve ortam koşullarına kavuştuğunda, hızla belirginleşip yeni kökçükler meydana getirirler. Böylece kök sisteminde saçak kök olarak adlandırılan yan köklerin oluşumu ve ilerleyen aşamalarda ana köklerin yatay ve dikey yönde dallanması gerçekleşir.

Kök sisteminin yenilenmesini sağlayan yeni kök oluşumları, içsel ve dışsal bir çok etkenin kontrolü altındadır. Köklerin yenilenmesi, beyaz renkli yeni kök uçlarının belirginleşip uzamasıyla gerçekleşir. Bu yeni köklerin 2 -5 haftalık süre sonunda uzamaları tamamlanır ve renkleri beyazdan kahverengine dönüşür (RIEDACKER 1986). Metakutinizasyon olarak tanımlanan bu renk değişikliği, apikal meristem zonunun gerisinde kalan kısmın dış hücre çeperlerinde suberin ve lignin birikiminden kaynaklanan bir anatomik değişim olayıdır (RIEDACKER 1976 a). Ancak hemen belirtmek gerekir ki, metakutinizasyonu her koşulda uzamasını tamamlayan beyaz renkli yeni kök uçlarının kahverengine değişmesi ile açıklamak mümkün değildir. Zira köklerde büyümenin kesilmesi anlamına gelen bu anatomik değişim, kış boyunca ortaya çıkabilen düşük toprak sıcaklıklarından, topraktaki su yetersizliğinden veya oldukça düşük sıcaklıklar nedeniyle suyun kökler tarafından alınmaması sonucunu doğuran yüksek su gerilimlerinden ya da topraktaki tuz konsantrasyonunun artması gibi olumsuz nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla metakutinizasyon aynı zamanda üreyimli kök uçlarını olumsuz koşullara karşı koruma işlevini de üstlenmektedir. Metakutinize olmuş kökler belirtilen olumsuz koşulların ortadan kalkmasıyla yeniden büyümelerini devam ettirmektedir.

Orman ağacı türlerinde köklerin yenilenmesi, bir yandan türlere özgü içsel yenilenme ritmi, diğer yandan da köklerin içinde buldukları ortam koşullarının etkilerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Köklerin yenilenmelerini kontrol eden içsel ve dışsal faktörler aşağıda ana hatları ile açıklanmıştır.

4.1 Köklerin Yenilenmesini Etkileyen İçsel Faktörler

Orman ağaçlarında köklerin yenilenmesi, içsel faktörlere bağlı olarak yıl içinde belirgin bir mevsimsel değişim göstermektedir. Önceleri söz konusu mevsimsel değişim trendinin karbonhidrat stokundan ve karbonhidrat stokundaki değişimden kaynaklandığı belirtilmiştir (VAN DEN DRIESSCHE 1978). Ancak bu varsayıma karşın, son araştırmalara göre kök yenilenme potansiyelindeki mevsimsel değişimin, bitkinin yıllık uyku döngüsü ile ilişkili olduğu ileri sürülmüştür (RITCHIE / TANAKA 1990). Bu yaklaşıma göre, köklerin yenilenme ve büyümesini kontrol eden kimyasal ve hormonal haberciler esasen sürgünlerde oluşmakta ve dolayısıyla köklerin yenilenme ve büyümesi sürgünlerin aktivite durumuna bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kök yenilenme potansiyelindeki mevsimsel değişimin ele alınan türün yıllık uyku döngüsü ile ilişkili olduğu, değişik türler üzerinde yapılan çok sayıda araştırmanın sonuçlarında ortaya konmuştur (ARBEZ 1971; EL NOUR 1984; RIEDACKER 1978; RIEDACKER / ARBEZ 1983; BURR 1990)

Buna göre ardışık büyüme ritmine sahip türlerde, ilkbaharda tomurcuk patlamasını izleyen sürgün büyüme evresinde köklerin yenilenme potansiyeli belirgin bir düşüş göstermekte, bazı türlerde sıfıra inmektedir. Ilman iklim kuşağında temmuz – ağustos aylarını kapsayan vejetatif olgunluk ve uykuya giriş evresinde sürgün büyümesi büyük ölçüde tamamlanmakta ve kökler karbonhidrat dağılımında yavaş yavaş üstünlüğü alarak yenilenme ve büyüme yeteneklerini yeniden kazanmaktadır. Eylül ayından itibaren belirginleşmeye başlayan derin uyku evresinde ise, vejetatif tomurcularda mitotik aktivite sıfıra inerek sürgün büyümesi tamamen durmaktadır. Bu evrede fidanlar yapay olarak sıcak ve uzun gün koşullarına yerleştirilseler de tomurcuklar patlamamaktadır. Diğer evrelere göre kısa bir zaman dilimini kapsayan bu evrede, köklerin büyümesinde önemli düzeyde bir artış olmasına rağmen yeni kök oluşumu ya da köklerin yenilenme potansiyeli en düşük düzeye inmektedir. Kasım – aralık aylarından itibaren başlayan uyku sonu ya da uyku sonrası evresinde uyku yoğunluğu gitgide azalmakta, ancak dış ortam koşullarının elverişli olmaması nedeniyle tomurcuklar faaliyete geçememektedir. İçsel ritim bakımından uyku baskısından aşama aşama uzaklaşan vejetatif tomurcuklar, fizyolojik bakımdan kazanmış oldukları gelişme potansiyelini bu evrenin sonlarına doğru dış ortam koşullarının gelişme için elverişli hale gelmesiyle mart ayının sonlarına doğru kullanmaya başlamaktadır. Türler ve ekolojik koşullara göre değişmekle birlikte, genel olarak kasım – mart dilimini kapsayan uyku sonu evresinde, vejetatif tomurcukların inaktif olmalarına karşılık, köklerin yenilenme potansiyelleri yıllık döngü içindeki en yüksek düzeyine ulaşmaktadır (Tablo 1). Çeşitli orman ağacı türleri üzerinde yapılan testlerde, kök yenilenmesinin yıl içinde en yüksek düzeyde olduğu söz konusu sonbahar – ilkbahar (kasım – mart) döneminde kök yenilenme potansiyelinin türler göre tek zirveli, iki zirveli ve yüksek platolu dönemsel değişim seyirleri gösterdiği belirlenmiştir (JENKINSON/NELSON/HUDDLESTON 1993).

Tablo 1: Fizyolojik Gelişme Evrelerine Göre Sürgünlerin ve Köklerin Büyüme ve Yenilenme Yetenekleri (RIEDACKER 1976 a)

Fizyolojik gelişme evreleri	Sürgün büyüme evresi	Uykuya giriş evresi	Derin uyku evresi	Uyku sonu evresi
Tomurcukların uyku durumu	0	+	+++	+
Köklerin uzaması	+ veya 0	++ veya 0	+++	+ veya 0
Köklerin yenilenme potansiyeli	+ veya 0	+	0	++ veya +++
Sürgün çeliklerinin yeni kök oluşturma potansiyeli	0	++	0	++ veya +++

0: Yok, +: Zayıf, ++: Orta, +++: Kuvvetli.

Eş anlı büyüme ritmi sergileyen türlerden *Eucalyptus spp.*, *Pinus radiata* gibi uygun yetişme ortamı koşullarında sürgün büyümesini yıl boyunca devam ettiren türlerde köklerin yenilenmesi sak tarafından engellenmemekte ve köklerin büyümesinde olduğu gibi yıl içinde azalan ve artan tempolarla devam etmektedir. Kök sak büyümesi bakımından eş anlı bir ritme sahip olan yaprağını döken ağaç türlerinin yıllık kök yenileme ritimleri konusunda gerçekleştirilmiş araştırmalar çok sınırlıdır. Bu kategoriye dahil olan *Quercus pedunculata* türü fidanları ile yapılan denemelerde, kök yenilenmesinin ilkbaharda sak büyümesinden daha önce başladığı, köklerin büyümelerinde olduğu gibi yenilenmelerinin de sak büyümesi ile eş anlı bir seyir gösterdiği, bu dönem içinde sürgün büyümesinin pik yaptığı evrelerde kök yenilenmesinin azaldığı ve esas kök büyüme ve yenilenmesinin ise sonbaharda gerçekleştiği belirlenmiştir (EL NOUR 1984; EL NOUR / RIEDACKER 1984).

4.2 Köklerin Yenilenmesini Etkileyen Dışsal Faktörler

Köklerin yayıldığı ortamın sıcaklığı, nemi, O₂ içeriği gibi dış etkenler, köklerin büyümesinde olduğu gibi yenilenmesi üzerinde de içsel ritmik döngü ile bağlantılı olarak etkili olurlar.

Gerek doğal, gerekse kontrollü koşullarda gerçekleştirilen çeşitli denemeler (RIADECKER 1978; RIEDACKER / ARBEZ 1983; EL NOUR / RIADECKER 1984), içsel ritim bakımından köklerin yenilenme potansiyelinin yüksek olduğu gelişme evrelerindeki +20 ile +25°C'lik toprak sıcaklıklarında kök yenilenmesinin en yüksek düzeye ulaştığını ortaya koymuştur. Bu nedenle de fidanlık ve ağaçlandırma uygulamaları bakımından fidanların fizyolojik kalitesini belirlemek amacıyla yapılan kök yenilenme potansiyeli testlerinde +20°C ortam sıcaklığı standart kabul edilmiştir (FRANCLET 1973; RITCHIE 1985). Kök yenilenmesinin en düşük düzeye indiği veya durduğu sıcaklık ise, +10°C civarındadır (DANIEL / HELMS / BAKER 1979) *Picea abies* ve *Pseudotsuga menziesii* türleri üzerinde yapılan araştırmalar, kök yenilenmesinin genel olarak +11 - +15°C sıcaklık düzeylerinden itibaren belirgin bir azalma gösterdiğini ortaya koymuştur (STONE / JENKINSON / KRUGMAN 1962; RITCHIE 1985). Diğer taraftan belirtilen optimum gündüz sıcaklıkları ile birlikte +10°C nin altına inen gece serinlikleri, uyku gereksiniminin karşılanmasında olduğu gibi köklerin yenilenmesini de olumlu yönde etkilemektedir. *Pinus ponderosa* fidanları ile yapılan bir

araştırmada, + 24°C gündüz sıcaklıkları ile birlikte 150 gün süre ile + 6°C lik düşük gece sıcaklıklarının kök yenilenmesini maksimum düzeyine çıkardığı belirlenmiştir (KRUGMAN / STONE 1966).

Toprak nem düzeyinin köklerin yenilenmesi üzerindeki etkileri daha belirgindir. *Quercus rubra* fidanları ile yapılan bir araştırmada -4 barlık toprak suyu gerilimi düzeyinin kök yenilenmesini belirgin düzeyde azalttığı, -6 bar düzeyinde ise yenilenmenin tamamen durduğu belirlenmiştir (LARSON / WHITMORE 1970). *Pinus nigra* nın alt türleri ile yapılan bir araştırmada da, bitki su gerilimi - 15 bar düzeyine düştüğünde kök yenilenmesinin durduğu belirlenmiştir AUSSENAC / GUEHL / KAUSHAL / GRANIER / GRIEU 1988). Tersine, toprakta su fazlalığının olduğu koşullarda ise, köklerin yenilenmesi benzer şekilde gerçekleşmemekte, daha önce de değinildiği gibi yenilenmiş kökler metakütinize olarak büyümelerini durdurmaktadır.

Toprağın havası ve tekstürünün köklerin yenilenmesi üzerindeki etkileri, büyümeye olan etkilerine benzerdir. Yeterli gözenek hacmine sahip havalanması iyi olan topraklar kök yenilenmesinin yoğunluğunu artırmaktadır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Köklerin büyüme ve yenilenmeleri, daha önce de değinildiği gibi karmaşık fizyolojik prosesleri kapsamaktadır. Ayrıca oluşum ve gelişimleri toprak altında gerçekleştiği için gözlemlenmeleri ve incelemeleri oldukça kısıtlıdır. Ancak bitkilerin genel olarak yaşama, büyüme ve ürün verimi gibi yaşamsal faaliyetlerinde üstlendiği görevler, bitki kültürlerinde köklerin ve özellikle yenilenme ve büyüme mekanizmalarının olabildiğince ayrıntılı tanınmasını ön plana çıkarmaktadır.

Orman ağaçlarında köklerin büyüme ve yenilenme fizyolojisi ile büyüme ve yenilenme üzerinde etkili olan dış faktörlerin bilinmesinin önemi, daha fidecik veya fidan aşamasında ortaya çıkmaktadır. Fidanlıklarda toprak ıslahı, sulama, gübreleme, kök kesimleri ve şaşırtma gibi yetiştirme tekniklerinin uygulanma zamanı, tekrarı ve yöntemleri, kaplı fidanlarda kap boyutları ve kap ortamlarının düzenlenmesi, köklerin büyüme, yenilenme ve morfogenezleri ile kuvvetli etkileşim içindedir. Esasen belirtilen tekniklerin çoğu, öncelikle fidanların kök sistemlerinin ıslahına ve dolayısıyla dikim değeri yüksek fidanlar yetiştirmeye yöneliktir. Yetiştirme sürecinde, sak ile orantılı ve dikileceği ekolojik koşullara elverişli bir kök gelişimi sağlayabilmek için belirtilen tekniklerle birlikte, türlere göre köklerin büyüme ve yenilenme mekanizmalarını kontrol eden içsel ve dışsal faktörlerin iyi bilinmesi ve uygulamalarda dikkate alınması gerekir. Bu sayede dikim değeri yüksek, kaliteli fidanlar yetiştirmek mümkün olur.

Kök yenilenme potansiyeli, özellikle ağaçlandırma sahalarındaki tutma başarısı ve ilk yıllardaki büyümeler bakımından dikilen fidanların fizyolojik kalite düzeyini yansıtan oldukça önemli bir parametredir. (DOUGLAS / Mc CREARY / DURYEA 1987; ALDHOUS / MASON 1993; JENKINSON / NELSON / HUDDLESTON 1993). Bu nedenle, fidanlıklarda uygulanan şaşırtmalarda ve özellikle çıplak köklü fidanlarla yapılan ağaçlandırmalarda, söküm - dikim zaman dilimlerini türlere göre kök yenilenmesinin en yoğun olduğu evrelere rastlatmak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, kök sistemlerinin ıslahı ve zenginleştirilmesi için *Fagus* ve *Quercus* türlerinde olduğu gibi ön çimlenme kökçüklerinin kesimi (RIEDACKER / PODA 1977), yandan kök kesimleri, seralarda yetiştirme ortamlarının ısıtılması ve CO₂ konsantrasyonlarının yükseltilmesi (EL NOUR 1984; KAUSHAL 1987), kök yenilenme potansiyelinin daha da

artırılması için su stresi ile koşullandırma (ABOD / SANDI 1983; EL NOUR 1984; KAUSHAL 1987) gibi daha özel yetiştirme tekniklerinin amacına ulaşabilmesi de, şüphesiz türlerin kök büyüme ve yenilenme mekanizmalarına dayandırılan uygulamalarla mümkündür.

Dikim sonrası yeterli bir kök gelişiminin sağlanabilmesi için dikim ortamının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin dikilen türlerin biyolojisine ve kök fizyolojisine elverişli nitelikler taşıması gerekir. Bu da uygun tür seçimi ve gerekli ıslah tedbirlerinin alınması ile sağlanabilir. Tür seçiminde diğer özellikler yanında kök morfolojisi ve fizyolojisine de önem verilmelidir. Özellikle kurak iklim bölgelerinde kazık köklerin taşıdığı önem göz ardı edilmemeli, bu husus, bilhassa belirtilen ekolojik koşullarda dikilecek fidanların fidanlıklardaki yetiştirme tekniklerinde dikkate alınmalıdır.

Daha özel uygulamalar için başvuru büyük boyutlu fidan yetiştirme tekniklerinde fidanlık aşamasında uygulanan transplantasyonların ve yetişkin ağaçların gerek nakillerinin, gerekse nakiller öncesinde bu ağaçlara uygulanan kök terbiyesi tekniklerinin başarılı olmasında da, köklerin yenilenme ve büyümesinin özellikle içsel ritmi belirleyici bir role sahiptir.

KAYNAKLAR

- ABOD, S., SANDI, S., 1983 : Effects of restricted watering and its combination with root pruning on growth capacity, water status and food reserves of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seedlings. Plant and Soil, 71, 123 - 129.
- ALDHOUS, J. R., MASON, W. L., 1994 : Forest Nursery Practice. Forestry Commission, Bulletin 111, 268 s.
- ARBEZ, M., 1971 : Croissance des racines du Pin laricio de Corse (*Pinus nigra* Arn., *spp laricio*), au stade juvénile. Ann. Sci. For., 28 (3) , 259 -288.
- AUSSENAC, A. C., GUEHL, J. M., KAUSHAL, P., GRANIER, A., GRIEU, Ph.,1988 : Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation. Rev. For.Fr., XL, No sp,131-139.
- BERBEN, J. C., 1975 : Influence de la densité du sol et des précipitations sur la croissance et le développement racinaire de quelques espèces forestières. Bull. Soc. Roy. Belgique, 80 (10), 377- 400.
- BOUDRU, M.,1992 : Forêt et Sylviculture : Boisements et Reboisements Artificiels. Presses Agronomiques de Gembloux, 348 s.
- BURR, K. E., 1990 : The target seedling concept : Bud dormancy and cold-hardiness. Target Seedling Symposium. Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations (R.Rose, S.J. Campbell T.D. Landis eds.). USDA Forest Service Gen.Tech. Rep., RM 200, 79-90.
- CARLSON, W. C., MILLER, D. E., 1990 : Target seedling root system size hydraulic conductivity, and water use during seedling establishment. Target Seedling Symposium. Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations (R. Rose, S.J. Campbell, T.D. Landis eds.) USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RM 200, 53 -66.

CLEARY, R. D., GREAVES, R. D., OWSTON, P.W., 1978: Seedlings. (B.D Cleary, R.D. Greaves and R.K. Hermann eds.). Reg. Oregon's Forests. Oregon State Univ. Ext. Service, 63-97.

ÇEPEL, N., 1985 : Toprak Fiziği. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No 3313/374, 288 s.

DANIEL, T.W., HELMS, J. A. and BAKER, F. S., 1979 : Principles of Silviculture, 2nd ed., Mc Grow-Hill Book Company, 500 p., New York.

DOUGLAS, D., M. C. CREARY and MARY, DURYE, L., 1987: Predicting field performance of Douglas-fir seedlings: comparaison of root growth potential vigor and plant moisture stress. New Forests, 3, 153-169.

EL NOUR, M., 1984 : Etude de la croissance et de la régénération des racines du Chêne pédonculé, du Cèdre, du Pin laricio de Corse et du Pin noir. Essais d'amélioration de la reprise après plantation à partir de modifications du fonctionnement racinaire. Thèse de doctorat 3 ème cycle de l'Université de Nancy I et INRA, 118 p.

EL NOUR, M., RIEDACKER, A., 1984 : Rythmes de croissance et de régénération des racines de plants et boutures de chênes pédonculés (*Quercus pedunculata* Ehrh.) Ann. Sci. For., 41 (3), 355-370.

FINKELSTEIN, D., 1983 : Contribution à la caractérisation écophysiological du Cèdre, étude de la croissance et des échanges gazeux. Thèse de doctorat 3 ème cycle de l'Université de Nancy, 145 p.

FRANCLLET, A., 1973 : Etat physiologique des plants forestiers et succès des reboisements. Fiche-Information Forêt, Afocel – Arnef, No 9, 8 s.

GÉNÉRÉ, B. , 1997 : Les facteurs influençant la qualité physiologiques des plants plantés, et la prise en compte des risques climatiques après plantation. Rev. For. Fr., XLIX, (4), 313 -324.

GRANIER, A., LEVY, G., 1981 : Influence des conditions d'engorgement du sol sur l'evolution de l'état hydrique de jeunes plants d'Epicéa (*Picea abies* L.). Ann. Sci. For., 38 (2), 179 -198.

GRIEU, G., 1986 : Ecophysiology du Douglas : Contribution a l'etude de l' influence des deficits hydriques sur les échanges gazeux, la croissance et l'accumulation de métabolites organiques. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy, 169 p.

GRIEU, G., AUSSENAC, G., 1988 : Croissance et développement du système racinaire de semis de trois espèces de conifères: *Pseudotsuga menziesii*, *Pseudotsuga macrocarpa* et *Cedrus atlantica*. Ann. Sci. For., 45 (2), 117 - 124.

GUEHL, J. M., FALCONNET, G., GRUEZ, J.,1989 : Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture . Ann. Sci. For. , 46 (1), 1 -14.

JENKINSON, J. L., NELSON, J. A., HUDDLESTON, M. E., 1993 : Improving planting stock quality. The Humboldt Experience. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-143, 219 s.

KACAR, B., 1995 : Bitki Fizyolojisi. A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No 1447 / 427, 424 s.

- KAUSHAL, P., 1987 : Analyse écophysologique des effets de stres liés aux transplantations des arbres forestiers.-Thèse de doctorat de l'Université Nancy I, 156 s.
- KRAMER, P. J., KOZLOWSKI, T. T., 1979 : Physiology of Woody Plants. Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. 881 p.
- KRUEGER, K. W., TRAPPE, J. M., 1967 : Food reserve and seasonal growth of douglas fir seedlings. For. Sci., 13, 192 -202.
- KRUGMAN, L., STONE, E. C., 1966 : The effect of cold nights on the root regenerating potential of Ponderosa pine seedlings. For. Sci., 12, 451 – 459.
- LARCHER, W., 1995 : Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer –Verlag New Yoork Berlin Heidelberg 504 s.
- LARSON M. M., WHITMORE, F. W., 1970 : Moisture stres affects root regeneration and early growth of red oak seedlings. For. Sci., 16, 442 - 446.
- OMI, S. K., 1985 : Soil compaction : Effect on seedling growth. Proceeding: Intermountain Nurseryman's Association Meeting. USDA Forest Service Gen. Tech.. Rep. RM-125 , 13 - 23.
- OPPENHEIMER, H. R., 1962 : L'adaptation à la sécheresse. Le xérophytisme. Recherches sur la zone aride ou semi aride. UNESCO, 115 - 153.
- RAIMBAULT, P., de JONGHE , F., TRUAN, R., TANGUY, M., 1995 : La gestion des arbres ornement. 2 e partie: Gestion de la partie aérienne : Les principes de la taille longue moderne des arbres d'ornement. Rev. For. Fr. XLVII, (1), 7 - 38.
- REICH, P. B., TESKEY, R. O., JOHNSON, P. S. HINCKLEY, J. M., 1980 : Periodic root and shoot growth in Oak For. Sci., 26 (4) , 590 - 598.
- RIEDACKER, A., 1976 a : Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. Ann. Sci. For. , 33 (3), 109 - 138.
- RIEDACKER, A., 1976 b : Etude des possibilites de modifier la morphogénèse juvénile des systemes racinaires de quelques espèces forestières ; applications pratiques. XVI IUFRO World Congress (Norway 1976), Proceedings Division I, 376 - 387.
- RIEDACKER A., 1978 : Régénération et croissance de la partie souterraine et aérienne de Cèdres placés sous climat constant. Ann. Sci. For., 35 (2) , 117-138.
- RIEDACKER, A., 1984 : Production et plantation de plants à racines nues ou en conteneurs. Rev. For. Fr. , XXXVIII (3), 226 -236.
- RIEDACKER, A., PODA, U., 1977 : Les systèmes racinaires de jeunes plants de Hêtre et de Chêne I.- Modification de leur morphogénèse par décapitation d'extrémités de racines et conséquences pratiques. Ann. Sci. For., 34 (2), 111-135.
- RIEDACKER, A., ARBEZ, M., 1983 : Croissance et régénération des racines de semis de pins laricio et de pins noirs en chambre climatisée et in situ. Ann. Sci. For., 40 (1) , 79 –110.
- RITCHIE, G.,A., 1985 : Root Growth Potential : Principles, procedures and pedictive ability. Evaluating Seedling Quality : principles, procedures and predictive abilities of major tests (M.L Duryea ed.) Corvallis. Oregon State University. 93 –105.

RITCHIE, G. A., TANAKA, Y., 1990: Root growth potential and the target seedling. Target Seedling Symposium. Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations (R. Rose, S.J. Campbell, T.D.Landis eds.) USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RM 200, 37-52.

STONE, E. C., JENKINSON, J. L., 1970 : Influence of soil water on root growth capacity of Ponderosa pine transplants. For. Sci., 16, 230 -239.

STONE, E. C., JENKINSON, J. L., KRUGMAN, S. L., 1962 : Root regenerating potential of Douglas fir seedlings lifted at different times of the year. For. Sci., 8, 288 - 297.

ÜRGENÇ, S., 1998 : Genel Plantasyon ve AĞaçlandırma TekniĖi., İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No 3997 / 444, 664 s.

VAN DEN DRIESSCHE, R., 1978 : Seasonal changes in root growth capacity and carbohydrates in red pine and white spruce nursery seedlings. Symposium : Physiologie des racines et sybioses. IUFRO Nancy, France, 6 -19.