

Genetik olarak modifiye edilmiş ağaçlarda lignin  
azalmasının trofik etkileşimler üzerindeki  
beklenmeyen etkilerinin sınanması

Massachusetts Institute of Technology  
Department of Civil and Environmental Engineering

1 Aralık, 2009

## İdari özet:

Düşük lignin içeriğine sahip genetik olarak modifiye edilmiş ağaçlar kağıt endüstrisi içerisinde yer alan kimyasal yolla hamurlaştırma işlemlerinin çevreye verdikleri zararları azaltma olasılığı içeren bir jeomühendislik tasarısıdır. Lignin, ağaçları iklim, hastalık ve hayvan aktivitelerine karşı koruyan karmaşık bir kimyasal maddedir. Fakat odunda ligninin yer alması, hamurlaştırma işleminde veya kağıt fabrikalarında zehirli kimyasalların kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu kimyasallar fabrika çalışanlarına olduğu kadar çevre içinde bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Özel olarak kağıt endüstrisi için yetiştirilmiş ağaçlardaki lignin içeriğinin azaltılması kağıt-yapımının verimliliğini arttırabilir ve ağır kimyasalların kullanımını azaltabilir. Lignin azaltılması her ne kadar üretkenliği maksimize etmek ve kağıt yapımının ekolojik ayak izini minimize etmek için umut vaat eden bir yöntem olsa da çevre üzerinde öngörülemeyen etkileri olabilir. Lignin azaltılması ile ilişkili olası yan etkiler, değiştirilmiş ağaçlarda düşük dayanıklılık, trans-genik kaçak ve herbivor böcek popülasyonlarında değişiklikler olarak özetlenebilir. Bu değişiklikler önemlidir çünkü hem diğer türlerin hem de bütün ekosistemin yaşamını tehlikeye atabilir.

Önerilen deney, lignin azaltımının yakın çevredeki trofik etkileşimler üzerinde oluşturacağı etkiyi ortaya koyabilmek ve nicelleştirebilmek için uzun dönemli bir arazi çalışmasının yapılmasını önermektedir. Arazi çalışması, kağıt yapımında sıklıkla kullanılan bir tür olan *Populus tremuloides*'u ya da titrek kavak'ın genetik olarak modifiye edilmesini ve bu tür ile ilişkili herbivor ve herbivor olmayan böcek popülasyonlarının izlenmesini içermektedir. Bu arazi çalışması sonucunda beklentimiz trofik etkileşimlerin bu değişiklikten hiç etkilenmemesi veya çok az miktarda etkilenmesidir. Bu deney her ne kadar lignin azaltımının bütün ekosistem üzerindeki etkisini irdelemese de, arazi çalışmasının sonuçları genetik modifikasyonun farklı trofik seviyelere nasıl nüfuz ettiği konusundaki bilgilerimizi derinleştirecektir.

## Lignin ve Zehirli Hamur Atıkları

2. yüz yılda Çinlilerin kağıt yapım yöntemlerini bulmaları ile birlikte, kağıt dünyada en çok ve en yaygın olarak kullanılan ticari ürünlerden bir tanesi haline gelmiştir. 19. Yüzyılın başlarında matbaanın bulunması ile beraber kağıt üretiminin mekanize hale gelmesi ve üretiminin görece olarak ucuzlaması ve kolaylaşması kitap ve gazete kağıdına olan talebi artırmıştır. Kağıda olan uluslararası talepteki artış, kağıt fabrikalarının kurulması ve ormanların kesilmesi sonucunda sucul çevrede kimyasal kirlenmenin ortaya çıkması ile sonuçlanmıştır.

Odun kağıda dönüştürülmeden önce hamurlaştırma işleminden geçer. 1 Açıları iklim, patojenler ve diğer haşerelerin zararlı etkilerinden koruyan ve oldukça karmaşık bir bileşik olan ligninin parçalanması, genellikle ağır kimyasallar gerektirmektedir. Bu kimyasalların kağıt fabrikalarında kullanılması fabrikadan dışarıya doğru sızıntı olma olasılığını doğurmaktadır ve bu kimyasallar doğal çevrede birikerek ekosistem ve ekosistemde yaşayan canlılar üzerinde zararlı etkileri olabilir (Sponza, 2003). Su kaynaklarının yanında bulunan kağıt fabrikalarından gerçekleşen sızıntılar sucul çevreyi kirletir ve yerel türleri negatif yönde etkiler. Çalışmalar, hamurlaştırma ve kağıt yapımı sürecinden kaynaklanan sızıntılara maruz kalan balık popülasyonlarında, üreme oranlarının azaldığını belirlemiştir. Yumurta gelişimi gerilemiş ve balıkların ömür uzunluklarında düşme görülmüştür. Aynı zamanda balık popülasyonlarında, erkek eğilimli bir eşey oranı gözlemlenmiştir (Larsson and Förlin, 2002). Son olarak zehirli ve mutajenik kimyasalların göllerde birikiminin mikroorganizmalar ve fitoplanktonlar üzerinde zararlı etkileri olduğu ortaya konmuş ve doğal besin zincirinin bozulma tehlikesi altında olduğu belirlenmiştir (Munkittrick *et al.*, 1997; Sibley *et al.*, 1997; Soimasuo *et al.*, 1998).

Hamurlaştırmada kullanılan kimyasallar sadece doğal çevreye zararlı olmakla kalmayıp aynı zamanda kağıt fabrikasında çalışan işçiler içinde önemli

bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bu kimyasallarla uzun süreler boyunca doğrudan çalışmak kalıcı hastalıkların ortaya çıkması ile sonuçlanabilir. Fabrika alışanlarının sağlıkları üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar hamurlaştırma işlevinin zehir derecesi ile çalışanların sağlık problemleri arasında doğrudan bir ilişki bulmuştur (Lee *et al.*, 2002). Genel olarak, diyabet, akli dengesizlik ve çeşitli kanser formları gibi bir seri hastalık için ölüm oranları, beklenenin üstünde çıkmıştır (izelge 1'e bakınız). Bu sonuçlar çevrenin korunması ve insanların karşılaştıkları sağlık riskinin minimize edilmesi için kağıt endüstrisinde kullanılan tehlikeli kimyasal miktarının azaltılması gerektiğini göstermektedir.

**Çizelge 1. New Hampshire'daki kağıt fabrikası alışanlarında beklenen ile gözlemlenen ölümleri**

| <b>lm Nedeni</b>                   | <b>Beklenen</b> | <b>Gözlenen</b> |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Yanak boşluğu ve farinks kanseri     | 10              | 5               |
| Sindirim organları kanseri           | 79              | 61              |
| Mide Kanseri                         | 15              | 8               |
| Kalın Barsak Kanseri                 | 11              | 5               |
| Gırtlak Kanseri                      | 6               | 2               |
| Lösemi ve alsemi                    | 12              | 7               |
| Diyabet                              | 22              | 15              |
| Akli ve Psikonevrotik dengesizlikler | 12              | 6               |

**Hamurlaştırma işleminde kullanılan kimyasallarla yakından çalışmaktan dolayı fabrika alışanlarında çeşitli hastalıklar için gözlemlenen ölüm sayısı beklenen ölüm sayısını geçmektedir. Schwartz (1988)'den uyarlanmıştır.**

## Jeomühendisliğe Kısa Bir Bakış

İnsanın doğal çevre üzerinde bıraktığı etki ile ilişkili farkındalığın artması, çevresel sorunların çözümünde yeniliklerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bazıları çevre kirliliğine yol açan aktivitelerin kısıtlanması yolunu önerirken, insan yaratıcılığı jeomühendisliğin de kullanışlı bir yöntem olabileceğini ortaya koymuştur. Jeomühendislik kavramı insan aktivitesinin yarattığı negatif etkiyi dengeleyebilmek veya onunla mücadele edebilmek için çevrenin geniş kapsamlı manipulasyonunu betimlemektedir. Jeomühendislik kavramı her ne kadar ilk olarak soğuk savaş çerçevesinde politik amaçlarla irdelenmişse de, sonraki on yıllarda çevre sorunlarının ön plana çıkması ile çalışmalar, çevresel problemlerin çözümü için kullanışlı bir yöntem olup olmadığı üzerine yoğunlaşmıştır (Keith, 2000). Jeomühendislik çalışmalarını yönlendiren iki temel parametre; **kapsam**, küresel boyutta olmalıdır ve **amaç**, çevresel değişiklik temel hedef olmalıdır şeklinde özetlenebilir. Örneğin çimenleri biçmek kapsamsız bir amacı yansıtır çünkü her ne kadar insanın ihtiyaçlarına yönelik olsa da küresel boyutta çevreyi etkilemez. Buna karşıt kloroflorokarbonların (KFK'lar) üretimi amaçsız bir kapsamı temsil etmektedir çünkü ozon tabakasının delinmesi amaçlanmamış bir yan üründür. Jeomühendislik amaç ile kapsamı uzlaştırmayı hedefler. Jeomühendislik tasarılarından çoğu her ne kadar atmosfere salınan insan kaynaklı gazların etkilerini ortadan kaldırmak konusu üzerine odaklanmışsa da jeomühendisliğin birçok başka çevresel soruna da uygulanabileceğine dikkat çekilmelidir.

Jeomühendislik üzerine olan yoğunlaşma değişen kapsamda ve uygulanabilirlikte birçok farklı öneri üretmiştir. Jeomühendislik tasarılarından çoğu amaca göre gruplandırılabilir, örneğin, hedefi enerji dengesini düzenlemek olanlar, net termal enerji girdisini modifiye edenler veya iklim sistemi içerisindeki enerjinin dağılımını betimleyen enerji taşınımına yönelik olanlar gibi (Şekil 1'e bakınız).

Atmosferik karbon dioksit miktarlarının azaltılmasını, dolayısıyla enerji dengesini sağlamayı hedefleyen jeomühendislik tasarısına bir örnek, okyanusların demir ile aşılmasıdır. Demir aşılması arkasındaki fikir, okyanuslara bilinçli olarak demir sokarak fitoplankton patlamalarına yol açmaktır. Açık okyanuslarda demir fitoplanktonlar için kısıtlayıcı bir faktör olduğundan dolayı, eklenmesi okyanuslarda tutulan karbon miktarını önemli derecede arttırmaktadır. Okyanusların net birincil üretkenliğinin artması sonucunda atmosferden daha yüksek oranlarda karbon çekilecektir. Demir aşılması hem laboratuvar denemelerinde hem de Atlantik'teki küçük deney alanlarında, okyanusların karbon tutma miktarını artırma açısından oldukça iyi sonuçlar vermiştir (Boyd *et al.*, 2000; Buesseler *et al.*, 2004). Fakat uzun dönemli bir uygulama sonrasında sucul çevrelere yapılan demir aşılması durdurulursa, fitoplankton komüniteleri çökecektir. Bir başka değişle okyanuslardaki trofik piramit tabandan yıkılmış olacaktır. Bu çöküşün sonuçları korkunç olabilir. Demir aşılmasının bentik besin zincirini nasıl etkilediği üzerine bilgilerimizi derinleştiren birçok çalışmaya ihtiyacımız vardır. Bunlara ek olarak demir aşılmasının atmosferdeki karbonun sekastrasyonu üzerinde kalıcı bir etkisi olup olmadığına dair tatmin edici bir bulgu yoktur (Bala, 2009; Cooper *et al.*, 1996).

Yukarıda da belirtildiği üzere jeomühendislik tasarılarının hepsinin amacı küresel ısınmayı önlemek değildir. Bazıları enerji taşınımını manipüle etmek için geliştirilmiştir. Örneğin kasırgaları hafifletmek için okyanus yüzeylerine kimyasal tek-katmanlar yaymak gibi. Hava ve iklim kontrolü için geliştirilmiş bu tasarıda, suyun buharlaşmasını önlemek için okyanusların üzerine biyobozunur kimyasallardan oluşan ince bir katman film çekilir. Kasırgalar buharlaşma yoluyla taşınan ısı enerjisinden oluştukları için, bilim insanları bu tasarımın yıllık kasırğa sayısını, dolayısıyla şehir ve sahillerde görülen yıkımları, azaltacağına inanmaktadır (Mallinger and Mickelson, 1973). Kimyasal tek-katmanların sakıncaları, deniz biyomu üzerindeki ekolojik etkilerinin tam olarak

bilinmemesi ve filmlerin kasırga gücündeki veya diğer şiddetli hava akımlarının yol açabileceği yer değiştirmelere karşı dirençli olmasıdır. Her ne kadar su haznelerinde deneyler yapılmış olsa da, kimyasal tek-katmanların açık denizlerde kullanışlı olacaklarını varsaymak oldukça zordur.

Her ne kadar jeomühendislik tasarıları Şekil 1’de gösterilen düzen doğrultusunda sınıflandırılabilirler de jeomühendislik enerji güdümü gerektirmeyen başka çevresel problemler için de uygun bir çözümdür. Burada ortaya koyacağım öneri bu gibi bir tasarıya örnektir ve kağıt fabrikaları yakınında bulunan sucul çevrelerdeki kirlenmeyi azaltmak için ağaçlar üzerinde genetik mühendisliğin uygulanması şeklinde tanımlanabilir.

### **Jeomühendislik Stratejileri**

|                                              |                                                              |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Enerji Dengesi                               | Enerji Taşınımı                                              |
| Okyanus aşılması                             | Buharlaşmanın kimyasal veya fiziksel olarak kontrol edilmesi |
| Karasal ekosistemde karbon tutumu            | Hidrolojik mühendislik                                       |
| Jeokimyasal sekestrasyon                     | Hava kontrolü                                                |
| Genetik modifikasyonla ekosistem üretkenliği | Buzul taşınımı                                               |

**Şekil 1. Sera gazlarını azaltmaya yönelik jeomühendislik tasarılarını enerji dengesi ve enerji taşınımı kategorilerine göre ayıran sınıflandırma. Keith (2000)’den uyarlanmıştır.**

### **Genetik olarak tasarlanmış ağaçların kullanımını ve tarihçesi**

Bu önerinin amacı, genetik olarak tasarlanmış ağaç kavramını ve bunun küresel kağıt endüstrisinde kullanımını, özellikle lignin azaltımı bakımından, irdelemektir. Diğer jeomühendislik tasarılarının aksine transgenik ağaçlar sadece tek bir hedef için geliştirilmezler. Ağaçlar çok sayıda modifiye edilebilecek

karakterlere sahip olduğundan dolayı, bu yöntemi çok çeşitli uygulamalarda kullanabilmek mümkündür. Bu uygulamalar ağaçlandırma, uyarlanabilirlik ve odun kalitesi ile ilgili karakterler olmak üzere üç genel içerik altında toplanabilir (bakınız Çizelge 2). Ağaçlandırma, bir ağacın kalitesini, büyümesini ve sağlığını etkileyen karakterleri; uyarlanabilirlik bir ağacın soğuk hava koşulları gibi çeşitli çevresel baskılara karşı dayanabilme yeteneğini; odun kalitesi ile ilgili karakterler ise bir ağacın hangi kolaylıkta kağıda dönüştürebileceğini etkileyen özellikleri ifade etmektedir.

Günümüzde, genetik olarak tasarlanmış ağaçlar üzerine hepsi farklı araştırma ve geliştirme aşamasında olan 16 ülkeye yayılmış 225 adet arazi denemesi bulunmaktadır. Büyük Britanya ve Fransa’da transgenik kavaklardan üretilen hamurun kalitesini ölçen uzun dönemli arazi denemeleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda Brezilya’da, doğal ormanların korunabilmesi için modifiye edilmiş *Eucalyptus*’lar üzerinde geniş ölçekli deneyler gerçekleştirmiştir (Sedjo, 2004; Snow *et al.*, 2005). Birleşik Devletlerde ağaçlar üzerine yapılan deneyler küresel arazi çalışmalarının çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu deneyler hamurlaştırmadan, Amerika kökenli ağaç türlerinin yenilenmesine kadar çeşitli uygulamaları kapsamaktadır. Her ne kadar ülkelerin çoğu genetik olarak tasarlanmış ağaçlar ile ilgili denemeleri araştırma ve geliştirme aşamasında tutmuş ise, Çin Cumhuriyeti transgenik ağaçları ticari olarak üretmeye başlamış ve ülke boyunca bir milyonun üzerinde dikim gerçekleştirmiştir.

Genetik olarak modifiye edilmiş ağaçlar özellikle tehlike altındaki türlerin yenilenmesinde kullanışlıdır. Şehir sokaklarını astarlayan Amerikan karaağacına (*Ulmus americana* L.) bir zamanlar Birleşik Devletler’in kuzeydoğusunda ve Güneydoğu Kanada’da sıklıkla rastlanılırdı. Ne yazık ki bu ağaç popülasyonları 1930’larda Hollanda-Karaağaç hastalığından dolayı büyük ölçüde ortadan kalkmıştır. Her ne kadar iyileştirme çalışmaları ve konak böceğe yönelik pestisit uygulamaları gerçekleştirilmiş olsa da genetik mühendislik yoluyla hastalığa



dirençli ağaç soylarının oluşturulması oldukça ilgi çekmiştir. Yakın zamanda yapılan çalışmalar DNA'ları modifiye edilmiş mikorizal dirençli fidanların doğaya salınması ile beraber Amerikan Karaağacının geri dönüş yaptığını göstermektedir (Newhouse *et al.*, 2007). Benzer bir sonuç, her ikisi de mürekkep hastalığı ve kestane mantarı tarafından tahrip edilen Avrupa ve Amerika kestane ağaç popülasyonları içinde ortaya konmuştur (Adams *et al.*, 2002; Andrade and Merkle, 2005; Corredoira *et al.*, 2008). Bitki hücrelerini anti-fungal ve anti-mikrobiyal genler içeren seçilmiş genotipler ile aşılıyarak türlerin uyarlanabilirliğini arttırmanın, ileriki yıllarda Dünyayı dolduracak ağaç popülasyonları üzerinde önemli etkileri olacaktır.

Tehlike altındaki türleri yinelemek için transgenik ağaçların kullanılması yerel boyutta faydalı sonuçlar verirken, genetik olarak modifiye ağaçlar kağıt endüstrisinde küresel boyutta kullanılabilir. Odun ve odun temelli ürünlere olan talep yıllık %1.7 oranında veya 5'den 7 milyar m<sup>3</sup>'lük orman alanı kapsayacak şekilde artmaktadır ve dolayısıyla kağıt fabrikaların yol açtığı kimyasal kirlenmeyi önlemek için lignin mühendisliği geçerli bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır (Szabó, 2009; Walter, 2004). Genetik mühendisliğini kullanarak daha düşük lignin içeriğine sahip transgenik ağaçlar elde edilebilir. Lignin biyosentez döngüsü üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda hem bitki içerisinde lignin sentezinde görev alan enzimleri kodlayan genlerde dönüşümler gerçekleştirilmiş hem de RNA interferans yöntemi kullanılarak gen ifadesi susturulmuştur (Baucher *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2008).

Modifiye lignin içeriğine sahip odunların laboratuvar ortamında hamurlaştırılması ile ilgili sonuçlar genetik modifikasyonların hamurlaştırma kalitesinde ve etkinliğinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Bazı modifikasyonlar kimyasal kullanımı azaltma ve hamur çıktısını arttırma konusunda diğerlerine oranla daha iyi sonuç vermektedir. Lignin yoğunluğu modifiye edilmiş tütün üzerinde yapılan araştırmalar alkali özütleme ile kağıt kalitesini düşürmeden

daha fazla miktarda ligninin uzaklaştırılabileceğini göstermiştir (O'Connell *et al.*, 2002). Hatta elde edilen hamur doğal tütün kullanılarak elde edilen hamur ile karşılaştırılabilecek kalitedeydi. Benzer sonuçlar transgenik fideler içinde ortaya konmuştur (Pilates *et al.*, 2002). Lignin'in biyosentezinin ve yapısının yanında genel hamurlaştırma sürecinin de daha detaylı bir şekilde incelenmesi bileşiğin yıkılması ile ilgili süreçleri daha iyi anlamamız ile sonuçlanacaktır.

## **Çizelge 2. Genetik olarak Modifiye Edilmiş Ağaçlardaki Önemli Karakterler**

| <b>Ağaçlandırma</b> | <b>Uyarlanımlık</b>    | <b>Odun Kalitesi Karakterleri</b> |
|---------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Büyüme Oranı        | Kuraklık Dayanıklılığı | Odun Yoğunluğu                    |
| Besin Alımı         | Soğuk Dayanıklılığı    | Lignin azaltımı                   |
| Çiçeklenme Kontrolü | Mantar Direnci         | Lignin özütlemesi                 |
| Herbisit Direnci    | Böcek direnci          | Lif kalitesi                      |

**Transgenik ağaçlarda sıklıkla modifiye edilen karakterler. Amaca göre gruplandırılmıştır (Sedjo, 2004).**

## **Lignin ve Özgül Hamurlaştırma İşlemleri**

Lignin dünyada en çok rastlanılan biyo-polimerlerden bir tanesidir. Oduna ait hücre duvarlarının en önemli bileşenlerinden biri olup görevi ağacın iç kısımlarını dışarıdan gelebilecek zararlara karşı korumaktır. Dayanıklılığından dolayı aynı zamanda hamurlaştırma, yem olarak kullanıldığında sindirimi ve biyo-yakıt üretimi önünde kayda değer bir engel teşkil etmektedir. Lignin polimerleri kimyasal parçalanmaya oldukça dirençli olan eter ve karbon-karbon zincirleri tarafından karakterize edilir. Örneğin döngünün son basamağı olan Sinamil alkol dehidrogenaz (SAD)'ın baskılanması, çok daha kolay

özütlenebilen, dolayısıyla hamurlaştırma etkinliğini artmış olan lignin ile sonuçlanmaktadır (Baucher *et al.*, 2003).

Hamurlaştırma, saf odundan ligninin uzaklaştırma işlemine denir ve sonucunda odun hamuru oluşur. İki temel hamurlaştırma yöntemi, mekanik yöntem ile kimyasal yöntemdir. 2000 yılında dünya hamur üretimi 185 milyon metrik tonu geçmiştir. Bu rakamın %70'i kimyasal hamurlaştırma yöntemi ile elde edilmiştir (Pilates *et al.*, 2002). Hamurun, dolayısıyla kağıdın çoğu, kimyasal yöntemler ile üretildiklerinden dolayı, ana hedef güncel kimyasal yöntemlerin verimini arttırmak üzerinedir.

Kağıt ürününün tipi hangi tür hamurlaştırma sürecinin kullanılacağını belirler. Ligninin sodyum hidroksit ve sodyum sülfat kullanarak uzaklaştırıldığı Kraft işlemi en popüler yöntemdir. Sülfür lignin ile tepkimeye girerek çok daha kolay uzaklaştırılabilen thioligninleri oluşturur. Lignin ve diğer selüloz lifler uzaklaştırıldığı için elde edilen ürün orijinal biyokütlenin %45-55'ine denk gelmektedir. Artık lignin miktarı odun hamurunun beyazlaştırılabilme derecesini gösteren Kappa sayısını belirler. Dolayısıyla özgül olarak kağıt endüstrisi için yetiştirilen ağaçlarda Kappa sayısının düşük olması istenir. Bir başka yaklaşım ise büyük çoğunlukla baskı kağıdı ve kart gibi yüksek kalite kağıt yapımında kullanılan beyazlaştırmadır. Parlak renkte kağıt üretebilmek için hamurun klorür dioksit, sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit kullanılarak beyazlaştırılması gerekmektedir. Beyazlaştırmamanın amacı artık lignini uzaklaştırmak olduğu için lignin miktarı ne kadar düşük ise hamurun parlaklığı o kadar yüksek olacaktır. Sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit oldukça basit olmakla birlikte klorür dioksit çok kuvvetli bir asittir.

Sodyum hidroksit veya beyazlaştırıcıların birikmiş miktarlarda dışarıya sızlamaları göl ve gölet ekosistemlerinde yaşamın ortadan kalkması ile sonuçlanabilen şiddetli Ph artışlarına neden olabilmektedir. Bu kimyasallar nötralize edilmeleri veya seyreltilmeleri kağıt fabrikası çalışanların sağlığı için

zararlı olan tehlikeli gazların sızmasına neden olur. Dolayısıyla ligninin azaltılması hem çevrenin sağığı için hem de daha az miktarda kimyasal ve enerjinin tüketilmesi için istenmektedir.

### **Azaltılmış Lignin İeriğinin İstenmeyen Sonuçları**

Düşük lignin içeriğine sahip ağaçların hem ekonomik açıdan hem de sağık açısından insanlara bir çok yararı olsa da genetik olarak tasarlanmış ağaçlarla ilişkili oldukça ciddi bazı ekolojik riskler vardır. Eğer transgenik ağaçlar küresel boyutta kullanılacaksa, farklı büyüme ortamlarına karşı dirençli olmalıdırlar ve çevrelerine kasıtsızda olsa zarar vermemelidirler.

Azaltılmış lignin içeriğinin ekosistemin biyotik ve abiyotik bileşenleri üzerindeki etkisi dikkate alınması gereken bir konudur. Ağaçlar çoğunlukla çok sayıda mantar, mikrobiyal ve böcek kömünitelerine ev sahipliğı yapar. Şekil 3'te ağaçların çevre ile olan birkaç etkileşimi gösterilmiştir. Ağaç yaprakları üzerinden beslenen böcek larvaları lignin içeriğindeki değişme pozitif yönde cevap verebilir. Lignin içeriğinin azaltılması yaprakların sindirilebilme oranın artırır. Dolayısıyla transgenik ağaçlardaki lignin azatılımın yaprak yiyenlerin beslenme davranışlarında ve populasyon büyümelerinde değişiklik görülmesine neden olabilir (James *et al.*, 1997). Fakat bu sonucu bütün böcek türlerine genellemek oldukça zordur çünkü bazı türler diğerlerine oranla besinleri bakımından daha seçicidirler.

Diğer taraftan, transgenler doğrudan veya dolaylı olarak ağaçların kendisine zarar verebilir. Örneğin lignin çeşitli unsurlara karşı ağaçlara koruma sağlamaktadır dolayısıyla transgenik ağaçlar kendilerini soğığa, iklime ve haşerelere karşı koruyamayarak çevrelerine daha az uyumlu hale gelecektirler (Pedersen *et al.*, 2005). Mantar dirençliliğı eklenmiş transgenik gümüş huş üzerinde yürütölen deneyler, transgenlerin ifadesi sonucunda her ne kadar ağaçların mantar enfeksiyonlarına karşı kendilerini başarı ile savunduklarını gösterse de ağaçların beklenmedik şekilde artan afit populasyonlarından dolayı

daha yüksek oranda yaprak zararına uğradıkları tespit edilmiştir (Vihervuori *et al.*, 2008). Transgenlerin eklenmesi ağaç sağlığı ile ilgili diğer unsurlar bakımından istenmeyen sonuçlar doğurabileceği için ileride yapılacak olan çalışmalar bu etkileri minimize etmeye odaklanmalıdır.

Lignin modifikasyonu aynı zamanda toprak karbon oluşum hızını da etkileyebilir. Düşük lignin içerikli ağaçlar ile yabancı ağaçlar karşılaştırıldığında düşük lignin içeriğinin bitkinin kök ve yeni toprak karbonu oluşturma yeteneğini azalttığı gözlemlenmiştir (Hancock *et al.* 2006). Buna karşın başka çalışmalar farklı türler ve toprak tipleri için bu sonucun her zaman geçerli olmadığını göstermektedir (Bradley *et al.*, 2007). Örneğin, kavak ağaçlarında lignin modifikasyonu üç farklı toprak tipinde önemli bir etki göstermezken düşük lignin yoğunluğuna sahip türün killi topraktaki mantar komünitesi üzerinde negatif etkisi olmuştur. Dolayısıyla, genetik olarak modifiye ağaçları ticari olarak üretmeye başlanmadan önce, uyumluluklarının sınanması için çeşitli toprak tipleri ile denenmelidirler.

Bunlara ek olarak transgenik “kaçak” olasılığı vardır. Transgenik ağaçların ayrışması, modifiye edilmiş DNA’nın toprakta yaşayan bakterilere özümsenmesi için uygun ortam yaratmaktadır. Hızlı üreme oranları, sonuçları halen bilinmeyen, modifiye genlere sahip çok sayıda bakterinin ortaya çıkmasına neden olabilir. Ayrışan yapraklardaki DNA’nın dayanıklılığı üzerine yürütülen çalışmalar, DNA’nın ilkin ayrışmasının çok hızlı olması ile birlikte, DNA parçalarının toprakta dört aya kadar kalabileceğini gösterilmiştir (Hay *et al.*, 2002).

Bir ağacın ömür uzunluğu on yıldan yüzyıla kadar sürebileceği için, arazi çalışmaları ile oluşabilecek bütün riskleri irdeleyebilmek oldukça zordur. Dolayısıyla lignin azatımı ve genetik olarak tasarlanmış ağaçlar ile ilgili yapılacak her hangi bir uygulama, tedbiri elden bırakmadan ve beklenmeyen sonuçları göz önüne alınacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

Şekil telif hakkı kısıtlamasından  
dolayı çıkartılmıştır.

**Şekil 3. Ağaçlar ile çevredeki diğer populasyonlar arasındaki etkileşimler ve ağacın konak rolü üstlendiği organizma komüniteleri gösterilmiştir (Halpin et al., 2007).**

## **Hipotez**

Önerilen deneyin amacı azaltılmış lignin içeriğine sahip ağaçların doğal çevre üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde sınamaktadır. Temel hipotezim, ağaçların lignin içeriğinin azaltılmasının ekosistem içerisindeki trofik etkileşimler ve böcek herbivorluğu üzerinde minimal etkisi olacağıdır.

Genetik olarak modifiye edilmiş ağaçlardaki lignin içeriğinin böcek beslenmesi ve komünitesi üzerinde hemen hemen hiç etkisi olmamalıdır. Çalışmalar böceklerin transgenik ağaçlar ile yaban ağaçlar arasında her hangi bir tercih yapmadıklarını göstermektedir (Pilate *et al.*, 2002). Başka araştırmalar ağaç tırtıllarının ve ağaç güvelerinin hayatta kalma başarılarının lignin azalması ile ilişkili olmadığını ortaya koymaktadır (Brodeur-Campbell *et al.* 2006; Robison and Raffa, 1994; Tiimonen *et al.*, 2005). Benzer bir şekilde Vihervuori *et al.* (2008) transgenik ağaçlarda yaprak tahribatının daha çok olmasına rağmen böcek populasyonlarında bir azalma görülmediğini belirtmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar lignin azaltılmasının çevre üzerindeki etkisi açısından umut verici olsalar da lignin modifikasyonunun çeşitli herbivor böcek populasyonlarını nasıl etkilediği üzerine olan bilgilerimiz oldukça kısıtlıdır. Herbivor böceklerin transgenlere olan etkisi özellikle önemlidir çünkü bunlar

trofik piramit içerisinde birincil tüketiciler olup modifiye ağaçların yapraklarını yerler. Detaylı sınamalar yapılmadan, ağaçlardaki düşük lignin içeriğinin bütün böcek türlerini aynı şekilde etkileyeceğini varsayamayız.

## **Arazi Deney Düzeneği**

DNA modifikasyonunun kolay olmasından dolayı denek olarak *Populus tremuloides*'ın kullanılmasını önermekteyim. Kavakların küçük genom boyutuna sahip olması, yaklaşık olarak 450 – 550 Mbç, bu türün bütün genomu sekanslanacak ilk odunsu bitki olmasına neden olmuştur (Taylor, 2002). Buna ek olarak *Populus* türlerinin vejetatif olarak çoğalabilmesi son derece kullanışlıdır çünkü bu türlü bir eşeysiz üreme deney için gerekli olan çok sayıdaki kopyanın üretimini oldukça kolaylaştırmaktadır. Önceden yapılmış çalışmalar, örneğin Pilate *et al.* (2002), sınamaların hangi tür kavaklar üzerinde yapıldığını belirtmemektedirler. *Populus tremuloides* ya da titrek kavak sıklıkla hamur oluşturmada kullanılmaktadır. Dolayısıyla lignin azaltımını sınamak için sadece hamur sanayisi ile ilişkili bir türü kullanmak akla yatkındır. Modifiye kavaklar lignin biyosentez geni olan Sinamil alkol dehidrogenaz (SAD)'ı baskılayan dolayısıyla hamurlaştırma etkinliğini arttıran modifiye bir tür lignin üreten transgenler içerecektir (ifade edecektir) (O'Connell *et al.*, 2002).

Önceki araştırmalar büyük oranda transgenik ağaçların çevrenin tek bir unsuru üzerindeki etkisini irdelerken bu deneyin amacı lignin azaltımının trofik etkileşimleri, özellikle herbivor ve herbivor olmayan böcekleri, nasıl etkilediğinin ortaya konmasıdır. Bu deneyin amaçları doğrultusunda böcek herbivor olarak sadece titrek kavak üzerinden beslendikleri için *Bucculatrix staintonella* larvaları kullanılacaktır. Herbivor böceklerde monofaglık önemlidir çünkü ele alınan arazi deneyinde orman tırtıllı gibi polifag bir türün kullanılması trofik etkileşimlerdeki değişiklikleri yansıtabilen sonuçlar vermeyebilir. Güve larvalarına ek olarak, bir toprak böceği popülasyonunda ortama yerleştirilecektir. Herbivor olmayan bir böcek türü olarak bunların temel işlevi herbivor böcekleri

avlamaktır. Bunların güve larvaları ile etkileşimleri değiştirilmiş lignin içeriğinin trofik dinamikler üzerindeki etkisini ortaya koymak için önemlidir.

Deney alanı olarak Kanada'yı belirlemek mantıklıdır çünkü *Populus tremuloides* o bölgenin yerel florasının bir parçasıdır ve transgenik ağaçlardan elde edilen sonuçlar bölgede büyüyen yabancı tipler ile karşılaştırılabilir (Taylor, 2002). Bu deney için, alan denemeleri on yıl boyunca sürecektir. Her ne kadar bundan önceki çalışmalar, örneğin Vihervuori et al. (2008)'in yürüttüğü çalışmalar gibi, bütçe kısıtlamalarından dolayı genellikle dört ila altı yıl arasında sürseler de düşük lignin içeriğine sahip genetik olarak modifiye edilmiş ağaçların etkisini tam olarak değerlendirebilmek için uzun dönemli arazi denemeleri şarttır. Bir kavağın yetmiş ila yüz yıl arasında değişen toplam yaşam süresini kapsayacak bir çalışma yapmak her ne kadar gerçekçi olmasa da deney süresi tutarlı bir eğilimi saptayabilecek ve böcek popülasyonunda azalma gibi yıldan yıla görülebilen özgün olayları göz önüne alabilecek derecede uzun olmalıdır. Bunun yanında ağaç büyüdükçe ve olgunlaştıkça her hangi bir değişikliğin olup olmadığını gözlemleyebilmekte yararlı olacaktır. Kavaklar diğer türlere oranla daha kısa bir ömür uzunluğuna sahip olduklarından, daha uzun bir arazi denemesi ile transgenik ağaçların yaşam süresi içerisinde görülen farklı gelişim evreleri gözlemlenebilecektir. Bu hedef doğrultusunda deneyde, arazi denemesinin süresi içerisinde gelişerek orta yaşa ulaşabilecek genç kavaklar kullanılacaktır.

Deneyde 20'si transgenik kavak olan, 20'si ise yabancı tip olan toplam 40 ağaç kullanılacaktır. Kavaklar, her ağaç arasında 1 metre olacak şekilde 5 sıra ve 8 sütun halinde dikilecektir. Deney tavşan ve istenmeyen diğer hayvanları dışarıda tutabilmek ve böcek popülasyonların içe ve dışa göçlerini önleyebilmek için kapalı bir sera içerisinde gerçekleştirilecektir. Hem herbivor hem de herbivor olmayan böcekler transgenik ve yabancı tip kavaklara yerleştirilecektirler.



Arazi denemesi boyunca böcek populasyonları ve ağaç sağlığında görülen örüntüler gözlemlenecektir. Herbivor ve herbivor olmayan böceklerin populasyon yoğunlukları bu böcekler sohbahar ve kış aylarında diyapoza veya hibernasyona girdikleri için sadece yılın sıcak mevsiminde kayıt edilecektir. İki türünde larvalarının hayatta kalma başarıları ilkbaharda populasyon yoğunlukları ise yaz aylarında ölçülmelidir. Ağaçların sağlık durumlarının genel değerlendirmesi yıllık olarak büyüme mevsiminin sonunda renk analizleri ve yaprakların büyüklük ölçümleri yapılarak gerçekleştirilmelidir. Hoch et al. (2001)'e göre renk bir ağacın ne kadar stres altında olduğunu göstermektedir. 1'den 4'e kadar bir ölçekte, yeşil yaprak 1'e, yeşil ile sarı karışımı 2'ye, sarı ile kırmızı karışımı 3'e ve çoğu kırmızı ise 4'e tekabül etmektedir. Ağaç sağlığını nicelleştirmenin bir başka yöntemi ise ağaçların toplam yaprak yüzey alanının çalışma bölgesinin alanına olan oranı şeklinde tanımlanan yaprak alan indeksini (YAI) kullanmaktır. Ağaçların büyüme oranları, ağaç yüksekliği ve taban çapı kayıt edilerek takip edilecektir. Deneyin sonunda, deney boyunca ağaç sağlığı ve böcek populasyonları üzerine toplanan bütün veri bir araya toplanmalı ve topluca değerlendirilmelidir.

## **Sonuç ve Öneriler**

İnsanın varlığı, bilinen dünya sistemini tartışmasız bir şekilde şekillendirmiştir. İnsan tarihi içerisinde tarımın ve sanayileşmenin gelişmesi insanın çevreyi sömürme ve kirletme sürecini arttırmıştır. Artan insan popülasyonu ve gelişen ülkelerin önüne geçilemez büyümesi yaşam biçimimizi koruyabilmemiz için gerekli kaynakların yenilenemeden hızla tüketilmesi ile sonuçlanmaktadır. Fakat teknolojik ilerlemelerin insan yaratıcılığı ile birleşmesi jeomühendisliği veya insan aktivitesinin negatif etkilerini dengeleyebilmek için çevrenin geniş ölçekli güdümünü, küresel ısınma gibi problemlerin çözümü için geçerli bir yöntem olarak ortaya koymuştur. Jeomühendislik her ne kadar çevresel sorunlarımız için

her derde deva bir çözüm değilse de, yuvamızın sağlığını korumaya geldiğinde, problemin ağırlığı, bu yöntemi geçerli bir çözüm olarak ele almamızı gerektirir. Okyanuslara demir aşılması yapmak veya ağaçları genetik olarak modifiye etmek gibi jeomühendislik tasarıları, insanın çevre üzerindeki etkisini iyileştirme açısından umut verici sonuçlar verirken çevre üzerindeki olası negatif etkilerinin göz ardı edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bundan sonraki hedefimiz küresel dünya sisteminin karmaşık yapısı üzerine olan bilgilerimizi git gide arttırarak jeomühendislik tasarılarımızı sürekli olarak yaşadığımız dünyaya göre ayarlamak ve geliştirmek olmalıdır.

Bu öneride, ağaçlara düşük lignin içeriğini ifade eden transgenler sokularak hamurlaştırma işlemi sırasında kullanılan zehirli kimyasal miktarının nasıl düşürülebileceği irdelenmektedir. Bu küresel boyutta önemlidir çünkü bütün kağıt fabrikalarında kullanılan beyazlatıcı kimyasallar genellikle insan sağlığı açısından tehlikeli olup, fabrikalardan gerçekleşen sızıntılar göl ve gölcük ekosistemlerini yok edebilir. Bu arazi çalışmasının amacı genetik olarak modifiye edilmiş ağaçların ekosistemdeki trofik etkileşimler üzerindeki etkilerini aydınlatmaktır. Önceki çalışmalara dayanarak ağaçlardaki düşük lignin içeriğinin trofik etkileşimler üzerinde hemen hemen hiç etkisi olmayacağını öngörmekteyiz. Ne herbivor-olmayan böcekler ne de herbivor böcekler transgenler tarafından negatif olarak etkilenmemelidirler. Transgen ağaçlar ile kontrol ağaçlar sağlık açısından karşılaştırıldığında transgen ağaçların soğuk iklimlere ve haşerelere karşı daha duyarlı olduğu söylenebilir ama modifiye edilmiş ağaçların daha düşük korumaya sahip olduğu düşünülürse bu sonuç akla yatkındır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar düşük lignin içeriğinin trofik etkileşimleri negatif etkilediğini bulsun veya bulmasın, trofik dinamikler üzerine olan bu odaklanma gelecekte yapılacak çalışmalarda devam etmelidir. Gelecekteki deneylerin herbivor böcekler ile beraber herbivor olamayan böcekleri,

predatörleri ve parazitleri içermelerini önermekteyiz. Bu bileşenlerin bir arada değerlendirilmesi ekosistemin bütün özelliklerinin ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu özellikler transgenik ağaçların sadece bir tür üzerindeki etkisinin sınındığı çalışmalarda ortaya çıkmayabilir. Bir başka deyişle, bütün, sadece alt birimlerin toplamından ibaret değildir. Düşük lignin içeriğinin ekosistemin bütününe nasıl etkilediğini ortaya koymak istiyorsak, doğal çevreyi, karmaşık etkileşimler ağı oluşturacak şekilde, olabildiğince gerçekçi olarak temsil etmeliyiz.

Buna ek olarak, kağıt endüstrisinin küresel boyutundan dolayı, gelecekteki çalışmaların başka türlere doğru genişlemesi önerilmektedir. Huş, akçaağaç ve meşe ağacının hamur oluşturmada sıklıkla kullanıldığı düşünülürse araştırmalarımızı sadece *Populus tremuloides* üzerinde yoğunlaştırarak diğer türleri göz ardı etmemiz hatalı olacaktır. Çok sayıda farklı canlının kullanıldığı farklı çalışmaların sonuçları aynı öneriler üzerinde tutarlı bir şekilde birleşmeden belirli bir türün modifikasyonunun ve uygulanmasının çevre üzerinde ne gibi bir etki yapacağını söylemek mümkün olmayacaktır. Bu gibi değişikliklerin orman ekosistemini nasıl etkilediği üzerine daha detaylı bilgiler elde ettikçe, yerel türler ve habitat üzerinde istemeden yaratabileceğimiz ekolojik tahribatlardan kaçınabiliriz.

Dünyanın her yerindeki ağaçlar üzerinde genetik mühendislik uygulanması insan aktivitesinin negatif etkilerini dengeleyebilecek jeomühendislik tasarılarından yalnızca bir tanedisir. Küresel çevre problemleri ile mücadele etmeye yönelik birçok başka fikir vardır. Jeomühendislik yaklaşımı olsun olmasın eğer günümüzdeki yaşam biçimimizi muhafaza etmek ve neden olduğumuz ekolojik tahribatı düzeltmek istiyorsak, sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya için temel olan, çabucak harekete geçmemizdir. Bunu söylemekle beraber eğer Dünya sistemini tanımak için uğraşmazsak sağlıklı bir şekilde harekete geçemeyiz.

## Referanslar

- Adams, J. M., Piovesan, G., Strauss, S., & Brown, S. (2002). The case for genetic engineering of native and landscape trees against introduced pests and diseases. *Conservation Biology*, 16(4), 874-879.
- Andrade, G. M., & Merkle, S. A. (2005). Enhancement of american chestnut somatic seedling production. *Plant Cell Reports*, 24(6), 326-334.  
doi:10.1007/s00299-005-0941-0 ER
- Bala, G. (2009). Problems with geoengineering schemes to combat climate change. *Current Science*, 96(1), 41-48.
- Baucher, M., Halpin, C., Petit-Conil, M., & Boerjan, W. (2003). Lignin: Genetic engineering and impact on pulping. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(4), 305-350.
- Boyd, P. W., Watson, A. J., Law, C. S., Abraham, E. R., Trull, T., Murdoch, R., Bakker, D. C. E., Bowie, A. R., Buesseler, K., & Chang, H. (2000). A mesoscale phytoplankton bloom in the polar southern ocean stimulated by iron fertilization. *Nature*, 407(6805), 695-702.
- Bradley, K. L., Hancock, J. E., Giardina, C. P., & Pregitzer, K. S. (2007). Soil microbial community responses to altered lignin biosynthesis in populus tremuloides vary among three distinct soils. *Plant and Soil*, 294(1), 185-201.
- Brodeur-Campbell, S. E., Vucetich, J. A., Richter, D. L., Waite, T. A., Rosemier, J. N., & Tsai, C. J. (2006). Insect herbivory on low-lignin transgenic aspen. *Environmental Entomology*, 35(6), 1696-1701.

Buesseler, K. O., Andrews, J. E., Pike, S. M., & Charette, M. A. (2004). The effects of iron fertilization on carbon sequestration in the southern ocean. *Science*, 304(5669), 414.

Cooper, D., Watson, A., & Nightingale, P. (1996). Large decrease in ocean-surface CO<sub>2</sub> fugacity in response to in situ iron fertilization.

Corredoira, E., Valladares, S., Vieitez, A. M., & Ballester, A. (2008). Improved germination of somatic embryos and plant recovery of european chestnut. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 44(4), 307-315. doi:10.1007/s11627-008-9105-6 ER

Halpin, C., Thain, S. C., Tilston, E. L., Guiney, E., Lapierre, C., & Hopkins, D. W. (2007). Ecological impacts of trees with modified lignin. *Tree Genetics & Genomes*, 3(2), 101-110.

Hancock, J. E., Loya, W. M., Giardina, C. P., Li, L., Chiang, V. L., & Pregitzer, K. S. (2007). Plant growth, biomass partitioning and soil carbon formation in response to altered lignin biosynthesis in populus tremuloides. *New Phytologist*, 173(4), 732-742.

Hay, I., Morency, M., & Seguin, A. (2002). Assessing the persistence of DNA in decomposing leaves of genetically modified poplar trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(6), 977.

Hoch, W. A., Zeldin, E. L., & McCown, B. H. (2001). Physiological significance of anthocyanins during autumnal leaf senescence. *Tree Physiology*, 21(1), 1.

- James, R. R., DiFazio, S. P., Brunner, A. M., & Strauss, S. H. (1998).  
Environmental effects of genetically engineered woody biomass crops.  
*Biomass and Bioenergy*, 14(4), 403.
- Keith, D. W. (2000). GEOENGINEERING THE C LIMATE: History and  
prospect 1. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1),  
245-284.
- Larsson, D. G. J., & Förlin, L. (2002). Male-biased sex ratios of fish embryos  
near a pulp mill: Temporary recovery after a short-term shutdown.  
*Environmental Health Perspectives*, 110(8), 739.
- Lee, W. J., Teschke, K., Kauppinen, T., Andersen, A., Jäppinen, P.,  
Szadkowska-Stanczyk, I., Pearce, N., Persson, B., Bergeret, A., &  
Facchini, L. A. (2002). *Environmental Health Perspectives*, 110(10), 991.
- Li, J. Y., Brunner, A. M., Shevchenko, O., Meilan, R., Ma, C., Skinner, J. S., &  
Strauss, S. H. (2008). Efficient and stable transgene suppression via RNAi  
in field-grown poplars. *Transgenic Research*, 17(4), 679-694.  
doi:10.1007/s11248-007-9148-1 ER
- Mallinger, W. D., & Mickelson, T. P. (1973). Experiments with  
monomolecular films on the surface of the open sea. *Journal of  
Physical Oceanography*, 3(3), 328-336.
- Munkittrick, K., Servos, M., Carey, J., & Van Der Kraak, G. (1997).  
Environmental impacts of pulp and paper wastewater: Evidence for a  
reduction in environmental effects at north american pulp mills since 1992.  
*FOREST INDUSTRY WASTEWATER 5. SELECTED PROCEEDINGS OF*

*THE 5 TH IAWQ INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST  
INDUSTRY WASTEWATERS, HELD IN VANCOUVER, BC, CANADA 10-  
13 JUNE 1996, , 35(2-3) 329-338.*

- Newhouse, A. E., Schrodtt, F., Liang, H. Y., Maynard, C. A., & Powell, W. A. (2007). Transgenic american elm shows reduced dutch elm disease symptoms and normal mycorrhizal colonization. *Plant Cell Reports*, 26(7), 977-987. doi:10.1007/s00299-007-0313-z ER
- O'Connell, A., Holt, K., Piquemal, J., Grima-Pettenati, J., Boudet, A., Pollet, B., Lapierre, C., Petit-Conil, M., Schuch, W., & Halpin, C. (2002). Improved paper pulp from plants with suppressed cinnamoyl-CoA reductase or cinnamyl alcohol dehydrogenase. *Transgenic Research*, 11(5), 495-503.
- Pedersen, J., Vogel, K., & Funnell, D. (2005). Impact of reduced lignin on plant fitness. *Crop Science*, 45(3), 812.
- Pilate, G., Guiney, E., Holt, K., Petit-Conil, M., Lapierre, C., Leplé, J., Pollet, B., Mila, I., Webster, E. A., Marstorp, H. G., Hopkins, D. W., Jouanin, L., Boerjan, W., Schuch, W., & Cornu, D. (2002). Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotechnology*, 20(6), 607.
- Pilate, G., Guiney, E., Holt, K., Petit-Conil, M., Lapierre, C., Leplé, J., Pollet, B., Mila, I., Webster, E. A., Marstorp, H. G., Hopkins, D. W., Jouanin, L., Boerjan, W., Schuch, W., Cornu, D., & Halpin, C. Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotechnology*, 2002 Jun,

- Robison, D. J., McCOWN, B. H., & Raffa, K. F. (1994). Responses of gypsy moth (lepidoptera: Lymantriidae) and forest tent caterpillar (lepidoptera: Lasiocampidae) to transgenic poplar, *populus* spp., containing a bacillus thuringiensis d-endotoxin gene. *Environmental Entomology*, 23(4), 1030-1041.
- Schwartz, E. (1988). A proportionate mortality ratio analysis of pulp and paper mill workers in new hampshire. *British Medical Journal*, 45(4), 234.
- Sedjo, R. A. (2004). *RFF Report, Washington, DC: Resources for the Future*,
- Sibley, P., Legler, J., Dixon, D., & Barton, D. (1997). Environmental health assessment of the benthic habitat adjacent to a pulp mill discharge. I. acute and chronic toxicity of sediments to benthic macroinvertebrates. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32(3), 274-284.
- Snow, A. A., Andow, D. A., Gepts, P., Hallerman, E. M., Power, A., Tiedje, J. M., & Wolfenbarger, L. L. (2005). Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecological Applications*, 15(2), 377-404.
- Soimasuo, M., Karels, A., Leppänen, H., Santti, R., & Oikari, A. (1998). Biomarker responses in whitefish (*coregonus lavaretus* L. sl) experimentally exposed in a large lake receiving effluents from pulp and paper industry. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 34(1), 69-80.



- Sponza, D. T. (2003). Application of toxicity tests into discharges of the pulp-paper industry in turkey. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54(1), 74-86.
- Szabó, L., Soria, A., Forsström, J., Keränen, J. T., & Hytönen, E. (2009). A world model of the pulp and paper industry: Demand, energy consumption and emission scenarios to 2030. *Environmental Science & Policy*, 12(3), 257-269. doi:DOI: 10.1016/j.envsci.2009.01.011
- Taylor, G. (2002). Populus: Arabidopsis for forestry. do we need a model tree? *Annals of Botany*, 90(6), 681.
- Tiimonen, H., Aronen, T., Laakso, T., Saranpää, P., Chiang, V., Ylioja, T., Roininen, H., & Häggman, H. (2005). Does lignin modification affect feeding preference or growth performance of insect herbivores in transgenic silver birch (betula pendula roth)? *Planta*, 222(4), 699-708.
- Vihervuori, L., Pasonen, H., & Lyytikäinen-Saarenmaa, P. (2008). Density and composition of an insect population in a field trial of chitinase transgenic and wild-type silver birch (betula pendula) clones. *Environmental Entomology*, 37(6), 1582-1591.
- Walter, C. (2004). Genetic engineering in conifer forestry: Technical and social considerations. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 40(5), 434-441.

MIT OpenCourseWare

<http://ocw.mit.edu>

1.018J / 7.30J Ekoloji I: Dünya

Güz 2009

Bu materyallere atıfta bulunmak ya da kullanım koşulları için <http://ocw.mit.edu/terms> adresini ziyaret ediniz.