

66

# ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ VE ORMAN MÜHENDİSLİĞİ

ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

*Aralık 2024*

EDİTÖR

PROF. DR. GÖKHAN AYDIN

99

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**

**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**

**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2024**

**ISBN • 978-625-5955-43-2**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruvenyayinevi.com

**e-mail:** seruvenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ VE ORMAN MÜHENDİSLİĞİ

Alanında Uluslararası Araştırma ve Değerlendirmeler

ARALIK 2024

EDİTÖR

PROF. DR. GÖKHAN AYDIN





## İÇİNDEKİLER

### KENTSEL YEŞİL ALANLARDA BİTKİSEL MATERYAL SEÇİMİ

<i>İbrahim TURNA,</i> .....	1
<i>Deniz GÜNEY,</i> .....	1
<i>Fahrettin ATAR</i> .....	1

### ÇEVRE DOSTU YAPI MALZEMESİ OLARAK ODUN-ÇİMENTO KOMPOZİT LEVHALAR

<i>Hüsnü YEL</i> .....	17
<i>Uğur ARAS</i> .....	17

### ORMANCILIKTA ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE KARIŞIK ETKİLİ DOĞRUSAL OLMAYAN REGRESYON MODELLEME SÜREÇLERİNİN KULLANIMI

<i>İlker ERCANLI</i> .....	35
<i>Abdurrahman ŞAHİN</i> .....	35

### ÇİMENTO İKAME MALZEMELERİ VE ÇİMENTOLU YONGALEVHA ÜRETİMİNDE KULLANIM İMKANLARI

<i>Uğur ARAS,</i> .....	57
<i>Hüsnü YEL,</i> .....	57
<i>Hülya KALAYCIOĞLU</i> .....	57

### OSMANTHUS DECORUS (BOİSS. & BALANSA) KASAPLIGİL TÜRÜNÜN VEJETATİF ÜRETİMİNDE KÖKLENDİRME MASASI SICAKLIĞI VE FİTOHORMON UYGULAMALARININ ROLÜ

<i>Deniz GÜNEY,</i> .....	77
<i>Fahrettin ATAR</i> .....	77



# BÖLÜM 1

## KENTSEL YEŞİL ALANLARDA BİTKİSEL MATERYAL SEÇİMİ

*İbrahim TURNA<sup>1</sup>,  
Deniz GÜNEY<sup>2</sup>,  
Fahrettin ATAR<sup>3</sup>*

1 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0003-4408-1327, turna@ktu.edu.tr

2 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0001-7222-6162, d\_guney@ktu.edu.tr

3 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0003-4594-8148, fatar@ktu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kentsel ekosistemler içerisinde önemli fonksiyonlar gören insanların yaşanabilir bir ortamda hayatını sürdürmesinin en önemli göstergesi sağlıklı kentler kurmaktır. Sağlıklı ve yaşanabilir kentler içinde kent içinde dengeli dağılmış, toplumun taleplerine cevap verebilen, yeterli miktar ve alana sahip yeşil alanların tesis edilmesi ile mümkündür.

Kentler sahip oldukları edafik, topografik ve iklimik faktörler yanında yapay olarak oluşturulmuş lokal koşulların etkisi altında şekillenir, gelişirler. Bu alanlarda sağlıklı ve yaşanabilir sürdürülebilir ortamların tesis edilmesi için teknik (mühendislik hizmetleri), sosyo-ekonomik, politik ve yönetsel bakımdan doğru kararların alınması ve bir dizi işlemlerin yapılması gerekir. Kentlerde gerek tabii gerekse yapay olarak tesis edilen açık yeşil alanlar çok çeşitli faktörlerin etkisi altında gelişim gösterirler. Bunlar içerisinde iklimik faktörlerin kontrolü zor, hatta imkansız olduğu için bu alanların yönetimi, tesis, bakım ve korunması çok daha hassas çalışmaları gerektirir.

Kentsel yeşil alanların ana ögesi olan otsu ve odunsu bitkisel materyaller ekolojik açıdan oldukça zor koşullar altında hizmet verebilmesi ve yaşamını amaçlandığı şekilde sürdürebilmesi öncelikle biyolojik özellikleri devamında bu tür/türlerin yetiştirme ortamı istekleri, fonksiyonları iyi bilinmelidir. Bu özelliklere göre de ekim ya da dikim teknikleri, yerleri ile bakım ve koruma gereksinimleri analiz edilmelidir. Uzun ömürlü olan odunsu taksonlar ve bunlar içerisinde yer alan ağaç ve ağaççıklar çok daha dikkatli incelemeyi gerektirir. Nitekim Gezer ve Gül (2009), kentin sahip olduğu açık yeşil alanların baskın elemanı olan ağaçlar farklı biçim, doku, renk ve ölçü gibi özellikleri ile mekânda çok yönlü görsel ve işlevsel hizmet ve katkılar sağlamakta olup kentsel yeşil alanların planlama/tasarım ve yönetimin en önemli bileşeni olduklarını belirtmektedir.

Küresel iklim değişikliğinin, özellikle sıcaklık ve nem seviyelerindeki değişimler, ısınma ve deniz seviyesindeki yükselmeyle birlikte, özellikle kıyı ekosistemleri ve peyzajları olmak üzere biyolojik çeşitliliği, arazi yapısını, yerleşim alanlarını, altyapıyı, gıda güvenliğini, hava kalitesini, flora ve faunayı olumsuz etkilemesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra, kentlerde artan “ısı adası etkisi” ve sıklaşan taşkın olayları insan sağlığı üzerinde de ciddi etkiler yaratacaktır. İklim değişikliğinin sonuçları, biyolojik çeşitliliğin azalması, karbon salınımının artması, çevre kirliliğinin yükselmesi ve doğal afetlerin artışı gibi etkilerle insanlık ve doğa için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Gül, 2024).

Kentsel yeşil alanların çok yönlü faydaları düşünüldüğünde birinci öncelik ekolojik uyum, ikinci öncelik ise teknik (materyal seçimi, tasarım ve planlama, aplikasyon, bakım ve koruma) bilgi düzeyinin uygulamaya aktarılmasıdır.

Kent yerleşkesi içerisinde tesis edilecek yeşil alanların gerek mevcut eko-

lojik koşullarına gerekse küresel iklim değişikliği senaryolarına uyum bakımından kritik değerler taşıdığı unutulmamalıdır. Zira karbon yutak alanlarına duyulan gereksinim, biyotik ve abiyotik koşulların verdiği hasarlar dikkate alındığında mühendislik hizmetlerinin bilimsel verilerle desteklenerek uygulanması zorunluluktur. Bu aşamada en önemli eksikliklerin başında materyal seçimi gelmektedir. Geleneksel ağaçlandırma (bitkilendirme) çalışmalarında olduğu gibi sahada mevcut doğal bitki örtüsünün türü artık yeterli gelmemektedir. Zira ekstrem koşullardan dolayı çok hassas ekosistemlerde olsa değişikliklere dayanıklı materyalin yetiştirilmesi, dikim sırasında gerekli önlemleri alınması öncelikli olarak ele alınır. Bununla birlikte mevcut bitkisel materyalin tamamen yok sayılmaması, morfolojik ve fizyolojik bakımdan sağlıklı olanların alanda tutulmasına katkı verilmelidir.

Mevcut ya da alana getirilmesi düşünülen bitkisel materyalin analizinde, türlerin sağlık ve gelişim durumu, kıymetli (endemik, relikt, anıt vb.) bir tür olup olmadığı, olası ömrü, fonksiyonu (gölgeleme, enerji tasarrufu, görsellik vb.), bir başka yere aktarılma kolaylığı, bakım ve koruma tedbirleri gibi kıstaslar dikkate alınır. Buna yeni yapılacak yolların, çim ve çayır alanlarının, çiçek partner ve tarhları, canlı çitler, tek tek, küme, grup ve büyük gruplar halinde düşünülen boylu bitkisel taksonlar vb. etkinlik alanları da katılarak birlikte değerlendirmeleri yapılır (Turna, 2024).

Kentsel yeşil alanlardaki mekanların; fiziksel (yapılar, ulaşım ağı, alt ve üst yapı elemanları, vb.), ekolojik (toprak, iklim ve topografya), sosyo-kültürel ve ekonomik özellikleri gibi kompleks değerleri yönetim ve planlamayı etkiler. Dolayısıyla kentlerin ideal bir yönetime kavuşturulmasında karmaşık olan bütün verilerin iyi analizi ve planlanarak uygulamaya aktarılması istenir. Konumuz gereği kent yönetiminde yeşil alanlarda sürdürülebilir ve yaşayan etkilerin en büyük göstergelerinden biri olan odunsu bitkisel materyalin seçim esasları incelenecektir. Bu materyaller içerisinde de ağaç ve ağaççık türleri sahip oldukları farklı biçim, renk, doku, boyut, uzun ömürlü olma gibi özellikleri nedeniyle mekânlarda çok amaçlı fonksiyonlara cevap vermektedir.

Bitkilendirme çalışmalarında amaç ya da amaçların tespitinden sonra en önemli kararlardan biri, ekim ya da dikim yoluyla alana getirilecek materyalin ne olacağı, bir başka söyleyişle “Tür Seçimi”dir. Bitkisel taksonların seçiminde, ekolojik, ekonomik, teknik, sosyo-kültürel yapı gibi özelliklerin entegre bir şekilde sentezi olarak düşünülmelidir.

Tür seçiminde; kullanım yerinin konumuna ve bu kullanımlardan beklenen amaçlara, kullanılan alanın genel ve özellikle lokal yetişme ortamı koşulları ile sosyo ekonomik ve kültürel değerlerinin hesaba katılması gerekir. Örneğin iklim değişikliği bakımından tür seçiminin; karbon depolama, kuraklığı önleme, kentsel iklim mikroklima etkisi, enerji (yazın soğutma, kışın ısıtma gibi) kullanımını azaltarak ekonomik katkı sağlama, ısı adası etkisinin azaltılması

gibi fonksiyonları dikkate alınmalıdır. Kentsel çevreyi iyileştirme bakımından da, hava kirliliğini azaltarak temiz hava sağlama, gürültü kirliliğini azaltma, su ve toprak erozyonunun önleme, turizm gelirlerine katkı verme, halkın fiziksel ve psikolojik sorunlarını azaltma, halk sağlığına katkı vermesi gibi çok yönlü faydaları hesaba katılmalıdır.

KYA mevcut bitkisel materyalin yaşam döngüsü dikkate alınarak lokal yetiştirme ortamı koşullarına adaptasyon sorunu yaşamadığı düşünülerek mutlaka koruması, yeniden sahaya getirilecek türlerin de benzeri özelliklere sahip türler olması önemli bir göstergedir. Nitekim silvikültür tekniğinde gösterge (müşir) bitkiler ağaçlandırma çalışmalarında çok kullanılan bir tekniktir. Yabancı (egzotik) orijinli bitkisel materyal seçiminde de ya orijin denemelerinin sonuçlarına göre ya da kısa vadede iklim verilerinden yararlanmak gerekir. En sağlıklı sonuçlar orijin denemeleri olmakla birlikte uzun (türe göre değişmekle birlikte en az 10-20 yıl) zaman aldığı için kısa vadeli çalışmalar mutlaka dikkate alınmalıdır.

KYA bitkisel materyal seçiminde ekolojik, biyolojik koşullar kadar olmasa da ekonomikle önemlidir. Zira materyal temininde üretim, taşıma, depolama, ekim ya da dikim, bakım ve koruma gibi maliyetlerin hesaplanması, özellikle bakım maliyetlerini azaltılması, sağlıklı ve görsel bakımdan istenen özelliklere sahip, çevreye uyumlu, yaşam kalitesinin iyileştirici özellikler gibi bütüncül bir yaklaşımla tür seçimine gidilmelidir.

Tür seçiminde önemli bir kriter de, mekan-bitki ve çevre koşullarının karşılıklı etkileşimidir. Bu konuda en önemli çözüm şekli olabildiğince doğal türlerin seçimi ve kullanımınıdır. Maalesef Türkiye şehirlerinde bu konu en fazla ihmal edilen kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bitkilerin boyut, biçim, doku, renk özellikleri ile hareket, ışık ve gölge etkileri, tasarımcılara geniş bir alternatif yelpazesi sunar. Bu nedenle, tasarım elemanlarının doğru ve uygun tekniklerle seçilen bitkilerle oluşturulması gereklidir. Tasarım sürecinde mekanın yapısı, ekonomik olanaklar ve ekolojik koşullar dikkate alınarak uygun bitki türlerinin seçilmesi ve bir araya getirilmesi büyük önem taşır. Örneğin, Tokat-Niksar'da planlanan kent ormanının çevre düzenleme planında (Acar ve ark., 2009), proje kapsamındaki alanlar; çok amaçlı etkinlik alanları, botanik bahçesi, hayvanat bahçesi, koşu ve yürüyüş yolları, fitness alanları, kaya bahçeleri, piknik ve oyun alanları ile seyir terasları gibi bölümlerden oluşmaktadır. Her bir etkinlik alanında bitki türü seçiminin farklılık göstereceği açıktır.

Kentsel yeşil alanlarda en uygun ve modern bitki kullanımı genellikle grup şeklindedir ve bu gruplar form, doku ve renk özellikleri birbirine benzeyen bitki türlerinden oluşturulur. Parklar, fabrikalar, okullar ve diğer büyük mimari yapılar için ağaçlar, çevreyi kuşatma, gölge sağlama, mekânı ünitelere ayırma, derinlik ve optik etki yaratma amaçları doğrultusunda farklı mesafe-

lerle yerleştirilir. Dörtlü, altılı ve sekizli ağaç gruplarıyla informal kitle etkisi elde edilir. Ancak, gruplarda keskin köşeli, oval ya da daire gibi formal şekiller tercih edilmez. Geniş yapraklı herdem yeşil ağaçlar, saf ya da karışık gruplar halinde bir araya getirilerek kullanılır. İbrelili tür gruplarının ise sert ve monoton bir görünüm oluşturabileceğinden ev bahçelerinde ve şehir içi peyzaj alanlarında yer almaması önerilir. Şehir içi peyzaj düzenlemelerinde, bu türlerin üçlü, beşli ya da yedili gruplar şeklinde saf ya da karışık olarak kullanılması yeterli görülmektedir.

Çınar, kayın, meşe gibi büyük gövdeli ağaçlardan oluşan gruplar ev bahçeleri gibi dar mekanlar için uygun değildir. Bu çeşit mekanlarda ağaççık ve çalı türleri ile mevsimlik çiçeklerden oluşan gruplara yer verilir. Bunlar içerisinde çok amaçlı kullanım (tıbbi ve aromatik, gelir getirici türler gibi) önerilir.

Örnek olarak ağaç türlerinden, *Platanus orientalis*, *Acer pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *Liquidamber orientalis* gibi türleri bir arada gruplar halinde, her dem yeşil çalılarından *Prunus laurocerasus* (karayemiş), *Euonymus japonica* (taflan), *Rh. ponticum* (ormangülü) bir arada küçük gruplar hâlinde harmoni teşkil edecek şekilde değerlendirilir.

Bitkisel materyaller kalite bakımından; istenen tür, varyete veya kültivar olduğunun doğrulanması, iyi gelişmiş ve yeterli miktarda kılcal kök içeren bir kök sistemine sahip olması, gövdeleri tepe tacını taşıyabilecek kalınlıkta olmasıdır.

Dallanma, türe özgü bir formda gelişmiş olmalı ve gövdenin en az üçte ikisi dallarla kaplı bulunmalıdır. Bu özellik, özellikle herdem yeşil türlerde önemli bir kriterdir. Tepe sürgünü (terminal) ve diğer sürgünlerin (subterminal) iyi gelişmiş, yeterli sayıda, tepe tomurcuğu ve diğer tomurcukları dolgun, canlı, ibreleri ya da yaprakları doğal renklerini koruyan ve sık olan fidanlar tercih edilmelidir. Dalsız gövde uzunluğu da özellikle kent içi yolların peyzaj düzenlemelerinde dikkate alınması gereken bir özelliktir. Gövde ve dalların kabuğu buruşuk olmamalı, yaşlı fidanlarda bir önceki yılın sürgünlerinin şekli, rengi ve kalınlığı normal gelişmeyi yansıtmalıdır. Kök, gövde ve dallarda herhangi bir yaralanma bulunmamalı ve fidan üzerinde patolojik (örneğin böcek, mantar gibi) oluşumlar, hastalık belirtileri ya da mekanik hasarlar olmamalıdır.

## 2. MATERYAL SEÇİMİ

Ülkemizde kentlerinde tercih edilecek yerli ve yabancı çok sayıda bitkisel materyal bulunmaktadır. Bunlar ağaç, ağaççık, çalı, sarılıcılar, çiçekler, yer örtücüler, çim, vb. olabilir. Ancak kent ekosistemlerinin zor ekolojik şartlarından dolayı önceliğin doğal elamanlara verilmesi, bunlar içerisinde de türlerin karşılıklı büyüme ilişkileri ve yaşam koşulları ile bakım ve koruma gereksinimleri hassas olmayı gerektirir. Fidanların, uygun tür ve kaliteli fidan yanında, büyük ve gelişmiş olması esastır. Kentsel yeşil alanlar için kaliteli fidan yetiştiren çok

sayıda fidanlığın ülkemizde olması da önemli bir avantajdır (Şekil 1).

Hangi amaçlarla olursa olsun bitkisel materyal seçiminde kabul görmüş genel kural seçilecek türlerin; ekolojik uyum, biyolojik kapasite, estetik katkı, işlevsel değer, bakım ve koruma ihtiyacı olmak üzere 5 aşamalı bir elemeye tabi tutulmasıdır (Dirik, 2008; Turna, 2017).



Şekil 1. Kentsel yeşil alanlarda kullanılabilir fidan örnekleri

Hangi amaçlarla olursa olsun bitkisel materyal seçiminde kabul görmüş genel kural seçilecek türlerin; ekolojik uyum, biyolojik kapasite, estetik katkı, işlevsel değer, bakım ve koruma ihtiyacı olmak üzere 5 aşamalı bir elemeye tabi tutulmasıdır (Dirik, 2008; Turna, 2017).

### 1.1. Ekolojik Uyum

Açık alan koşullarının olduğu kentsel alanlarda biyotik (mantar, böcek vb.) ve abiyotik (don, kuraklık, fırtına, kar vb.) faktörlerden kaynaklanan zararlara karşı alınabilecek en önemli önlem materyal seçiminin doğru yapılması ve doğru yerde kullanımıdır. Bu nedenle sahanın ekolojik koşullarını iyi analiz edilmeli, uzun dönemli verilerden ve bilimsel araştırmalardan faydalanılmasıdır.

**İklim faktörleri:** Bitki tür seçiminde ekolojik özellikler arasında en önemli ve değiştirilmesi en zor olan etmenlerin başında iklim özellikleri gelmektedir. Yeşil alanların bulunduğu ya da tesis edileceği alanların genel ve lokal iklim özellikleri (uzun dönemli en düşük ve en yüksek sıcaklıklar, erken ve geç donlar, mevsimsel ve yıllık yağış miktarları, rüzgar ve fırtına durumu gibi) türlerin yaşama, büyüme ve fonksiyonel işlevlerini etkilediği gibi tesis, bakım ve koruma giderlerini de etkilemektedir. Bu etki yeşil alanın yerelde konumuna ve boyutuna göre değişiklik gösterir.

Soğuk iklim koşullarının egemen olduğu şehirlerdeki otsu ve odunsu taksonlar ile sıcak iklim şartlarının olduğu kentlerde yetişebilecek türler birbirinden farklıdır. Benzer şekilde rüzgâra dayanıklılık ile ışık istekleri



bakımından yüksek olan türler ile gölgelik alanlarda kullanılacak türlerde farklılık gösterir. Dondan etkilenme, sucul karakterler, gibi çok sayıda iklimsel etmenler tür seçiminde önemli kriterlerdir.

İklim değişikliği senaryoları da dikkate alındığında su savaşlarının gündeme geldiği günümüzde suyun kullanımı son derece önem taşımaktadır. Dolayısıyla tür seçiminde, bölgenin genel iklim koşulları kadar lokal iklim özellikleri birlikte düşünülür.

**Toprak:** Tür seçiminde iklim kriterleri kadar önemli bir başka faktör de sahanın toprak özellikleridir. Toprak yapısı bitki beslenmesi ve gelişiminde çok önemli olduğu için mutlaka çok iyi analiz edilmeli ve buna uygun türlerin seçimi yapılmalıdır. Toprak isteği bakımından kanaatkâr türlerin kullanım alanı ne kadar geniş ise toprak isteği bakımından hassas türlerin kullanım yerleri çok daha sınırlıdır. Benzer şekilde kurak, kuru ve kumlu topraklar ile nemli ve ıslak topraklarda olduğu gibi asidik ve bazik karakterli topraklarda da tercih edilecek bitkisel materyallerin farklı olacağı unutulmamalıdır.

**Fiyografik faktörler:** Bu faktörler arasında mevki, rakım, baki, eğim, arazi şekli gibi kriterler aynı zamanda iklim ve toprak faktörleri ile etkileşim halinde olduğundan bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilir.

Yetiştirme ortamı koşulları bakımından odunsu bitkisel materyalin seçiminde ekolojik uyum bakımından birinci önceliğin doğal türlerde olması, bunlar arasında da en geniş yayılışa sahip olanların seçilmesidir. Maalesef Türkiye’de şehirleri planlayanların doğal türleri tercih konusunda başarılı oldukları söylenemez. Yurtdışında ithal edilen ve birinci önceliğin görsel değerlerle verildiği çok sayıda bitkisel materyallerle kentlerimizde genetik kirliliğe neden olunmakta, çok çeşitli böcek ve mantarların ülkemize ithaliyle çeşitli hastalıklara davetiye çıkarılmaktadır. Oysa Türkiye Akdeniz, Avrupa-Sibirya ve İran-Turan olmak üzere dünyanın en önemli üç farklı flora bölgesini içinde barındırmaktadır. Bu kapsamda 12000’in üzerinde bitki taksonu ile zengin bir flora çeşitliliğine sahiptir. Ancak bu çeşitliliğin kentsel yeşil alanlara yansımadağı, bunun yerine egzotik türlere yer verildiği görülmektedir. Nitekim Var vd, (2024), kentlerimiz sıradanlaşmış ve değişik yıllarda moda göre hemen hemen her bölgede özellikle Top Akasya, Melez Servi (*x Cupressocyparis leylandii*), *Pittosporum*/çitkırıldım çalısı, Alev Çalısı, Altuni Taflan vd. egzotik bitkilerle adeta tür kirliliğine gidilmiştir. Yine Var (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, Kuzey Doğu Karadeniz bölgesi kentsel yeşil alanlarında en fazla kullanılan gymnosperm ağaç türleri arasında *Cryptomeria japonica* (%50), *Biota orientalis* (%47), *Pinus pinaster* (%14), yapraklı türler içerisinde de *Salix babylonica* (%44), *Acer negundo* (%36), *Robinia pseudoacacia* %35, *Hibiscus syriacus* (%32), *Albizia julibrisin* (%27) olduğunu belirtmektedir.

## 1.2. Biyolojik Kapasite

Kentsel yeşil alanlarda seçilecek bitkisel materyaller, form ve yapısal özellikleriyle dikkat çekmelidir. Yapraksız haldeki dallanma morfolojileri, ilginç kabuk desenleri, sıra dışı sürgün ve kabuk renkleri ile mevsimsel renk değişimlerini sergileyen yaprakları, yeşilin, kırmızının ve sarının çeşitli nüanslarını sunarak estetik bir zenginlik yaratır. Ayrıca, farklı yaprak şekilleri ve canlı renklerdeki çiçekleri ile coşku, mutluluk ve sevgi gibi duyguları uyandıran bu bitkiler, meyveleriyle de insan üzerinde derin görsel etkiler bırakır.

Ağaç türleri, “yassı, oval, küre, sütun, şemsiye” gibi farklı formlarıyla; ağaççık ve çalı türleri ise “küremsi, sürünücü, yayvan, kubbemsi, piramidal, dağınık ve sütun” gibi değişik şekilleriyle çeşitli estetik ihtiyaçları etkili bir şekilde karşılayabilirler.

Bitkilerin şekilsel görünümüleri (taç, boy ve dallanma gibi) maksimum seviyeleri iyi bilinmeli ve kullanımları gereklidir. Örneğin piramidal formlulara *Picea*, *Abies*, *Cedrus*, *Araucaria* gibi türler, sürünücü-yaylıcı türlere *Juniperus*, *Cotaneaster*, *Cedrus deodora*, *Salix*, *Ulmus*, *Acer* gibi türleri örnek olarak verilebilir.

## 1.3. Estetik Değer

Kent peyzajında kullanılacak bitki türlerinin hem estetik açıdan katkı sağlaması hem de işlevsel özellikler taşıması beklenir. Bu türlerin düzgün bir gövde yapısına sahip olmaları, simetrik bir tepe tacı geliştirmeleri ve dallarının kırılmaya karşı dayanıklı olması istenir. Ayrıca, biyotik ve abiyotik zararlılara karşı dirençli olmaları da önemli bir faktördür.

Seçilecek türlerin altyapı tesislerine zarar verebilecek istilacı kökler geliştirmemesi ve güçlü kök sürgünleri oluşturmaması gerekmektedir. Örneğin, Söğüt, Kavak, Dut ve Kızılağaç gibi kök sistemleri nedeniyle altyapı tesislerine (filtrasyon, arıtma tesisleri, su ve gaz hatları) zarar verebilecek türler, bu tesislerin yakınlarında kullanılmamalıdır (Ürgeç, 1998).

Kaldırım ve meydan gibi alanlarda dikilecek bitkiler, kaplama ve taşlara zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir. Özellikle kent içi yol ve cadde ağaçlandırmalarında, kaldırımları bozabilecek sığ kök sistemlerine sahip türler tercih edilmemelidir.

Bitkilerin kazık kök sistemine sahip olmaları, kök ve kütük sürgünü vermemeleri ve rüzgâra açık alanlarda rüzgâr perdeleri oluşturabilmeleri istenen özelliklerdendir. Ayrıca, mevsimsel değişikliklerde yaprak, çiçek ve meyveleriyle estetik bir görünüm sağlamalıdır.

Alerji yapma riski bulunan (örneğin, erkek-dişi çiçek farkı olan) ve döküldüğünde çevreyi kirleten ya da insanlara ve araçlara zarar verebilecek

büyük ve sert meyveye sahip türler tercih edilmemelidir. Çiçek, meyve ve polenleri kötü kokan türler de genel olarak önerilmezken, zehirli meyve ve yapraklara sahip türler (Porsuk, Ormangülü, Kartopu gibi) çocuk oyun alanları gibi yerlerde dikkatli kullanılmalıdır. Aynı şekilde, Ginkgo ve Ailantus gibi kötü kokulu meyveye sahip bitkiler de dikkatle seçilmelidir.

Kent dokusuyla uyum sağlayan, dar mekan ve zor çevre koşullarına dayanıklı bitki türleri tercih edilmelidir. Kentsel yeşil alanlarda kullanılacak bitkiler, çeşitli ölçü, form, renk ve doku özellikleriyle görsel çeşitlilik yaratmalı ve mekanlara estetik bir çekicilik kazandırmalıdır.

Var (2024), bitki seçiminde estetik unsurların önemini vurgulamakta ve bitkilerin form, renk, ölçü ve dokusunun bireylerin algısını ve psikolojik durumunu etkilediğini, huzur ve sakinleştirici etkilerinin uzun vadede travmaların atlatılmasında önemli bir rol oynayabileceğini belirtmektedir.

#### 1.4. İşlevsel Değer

Kentsel yeşil alanlarda tür seçimini etkileyen başlıca unsurlardan biri, türlerin beklenen fonksiyonlara uygun yanıt verebilmesidir. Kentlerdeki yapısal zorluklar ve parçalanmış alanların fazla olması, yeşil alanların da parçalı olmasını kaçınılmaz hale getirir. Ancak, ekosistem hizmetlerinin etkin olabilmesi için bu alanlarda bütünlük, geçişlerin sürekliliği ve etkileşim sağlanması istenir. Farklı parçaların çeşitli işlevleri olsa da, aralarındaki uyum, başarı olasılığını artırır. Bu nedenle, bitkisel materyalin kullanıldığı yere göre seçim kriterleri tasarıma bağlı olarak değişiklik gösterir. En önemli nokta, fonksiyonel alanların doğru tespit edilmesi ve uygun bitki taksonlarıyla tesis edilmesidir. Zira belirli fonksiyonlar tüm plan ünitelerinde önemli olabilirken, bazıları sadece belirli alanlarda öne çıkar. Örneğin, geniş parklar ve koruluklar, karbon bağlama yoluyla iklim düzenleyici, oksijen üretimi, toz tutma ve gürültüyü azaltarak toplum sağlığını koruma gibi çok yönlü işlevleriyle her alanda etkilidir. Buna karşılık, rekreatif kullanım, su koruma veya erozyon kontrolü gibi işlevler, yalnızca belirli bölümlerde öncelik taşır.

Kent koruluklarının kurulmasında, materyal seçimi genellikle dar alanlar (örneğin konut bahçeleri, caddeler, sokaklar, refüjler ve rüzgar perdeleri gibi) ile karşılaştırıldığında daha kolaydır. Bunun sebebi, geniş alanların, materyal seçimi açısından önemli bir kriter olan kentsel alanlardaki ekolojik koşulları iyileştirme gerekliliğidir. Bu genel kuralın yanı sıra, özellikle yabancı türlerin seçimi sırasında türün “tesis yeteneği” ve “tesis değeri” göz önünde bulundurulmalıdır. Tesis yeteneği, türün yetiştirilmek istenen ortama uygunluğunu ifade ederken, tesis değeri, türün beklenen işlevleri yerine getirip getiremeyeceğini değerlendirir. Kent içinde ve çevresinde oluşturulacak parklar ve mesire alanları da bu kapsamda düşünülebilir, ancak bu tür yeşil alanlar, lokal iklim koşullarını etkileyecek genişlikte olmalıdır.

Genel olarak, seçilecek türlerin geniş bir doğal yayılış alanına sahip olması, bu doğal yayılış bölgesi ile yeni alan arasında ekolojik bir uyum bulunması, türün estetik gibi ekonomik ve teknolojik değerlerinin yüksek olması önemlidir. Ayrıca, doğal yayılış alanı dışındaki bölgelerde iyi gelişmiş ve uyum sağlamış plantasyon örneklerinin varlığı ve karışıma dahil olacak türlerin birbirleriyle uyumlu gelişme ilişkileri sürdürmesi de dikkate alınmalıdır.

Kent içinde cadde, yol, sokak ve refüjlerde kullanılacak bitkisel materyaller genellikle alleler şeklinde düzenlenir. Bu düzenlemelerde, aynı tür ve formda, düzgün sıralı, eşit aralıklı ve baştan sona simetrik bir şekilde yerleştirilmiş taksonlar tercih edilir. Tür seçimi, yol ve caddenin durumu, çevresindeki binalar, trafik işaretleri, aydınlatma elemanları, altyapı donanımları ve trafikteki araçlarla olan estetik ve güvenlik gibi etkileşimlerin işlevselliği göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Ayrıca, bitkilerin nihai gövde yapısı, tepe tacı genişliği, boylanma potansiyeli ve kök sistemleri de seçimde önemli rol oynar. Bu özellikler, yolların güvenliği, çevredeki binalarla mesafe uyumu ve altyapı tesisleri açısından kritik öneme sahiptir.

En az 5 m'lik net boş mekan yaratabilecek dalsız gövde oluşturabilmeleri, sarkık formda olmamaları, düzgün ve çatalsız silindirik gövde geliştirmeleri, simetrik tepe tacı oluşturmaları ve taç gelişiminin yol genişliğine uygun olması yer alır. Ayrıca, düşen meyvelerin mekanik hasar veya yaralanmalara yol açmaması da göz önünde bulundurulmalıdır (Dirik 2008).

Bitkilerin, yol ile yaya bandını ayıran tretuvardan 1-1,5 metre içeride konumlandırılması gerekir. Gelişmiş ağaçların tepe tacı ile çevredeki binalar arasında en az 2 metrelik bir boşluk bırakılmalıdır. Kaldırıma dikilen her ağacın dibinde en az 3 metre karelik açık alan bırakılmalı ve bu alan bodur ya da yer örtücü bitkilerle peyzajlandırılmalı veya yaya trafiğinin yoğun olduğu yerlerde malçlama ve geçirgen ızgaralarla kaplanmalıdır (Dirik, 2008; Turna ve Güney, 2021).

Toprak altındaki altyapı tesislerinin, ağaçlardan 2,5-3 metre uzaklıkta olması gerekmektedir. Küçük ağaçlar için 2 metre kare, orta boyutlu ağaçlar için 3 metre karelik kök yayılım alanı sağlanmalı ve bu alan kare veya daire şeklinde düşünülmelidir. Yüzeysel kök sistemi geliştiren ağaç türleri bu tür alanlar için uygun değildir (Ürgeç, 1998).

Eğer orta refüj genişliği 4 metreden az ise, ağaç yerine çalı türleri kullanılmalı; 10 metre kareden küçük trafik adalarında ise grup halinde ağaçlandırma yerine, görüşü engellemeyen tek ağaç dikilmelidir (Dirik, 2008; Turna, 2017). Tür seçimleri, bu gerekliliklere uygun olarak yapılmalıdır. Verilen sayısal değerler genel bir kılavuz niteliği taşımakla birlikte, bitkilerin planlı bir şekilde seçilmesi, projelendirilmesi ve uygulanmasında çok yönlü kullanım amaçları göz önünde bulundurulmalıdır.

Aslanboğa'ya (2002) göre, yol ağaçlandırmaları çok yönlü düşünülmemelidir ve trafik tekniği açısından yolun yönlendirilmesi, belirli noktaların vurgulanması, sürücünün dikkatinin yönlendirilmesi, trafiğin gölgelenmesi ve yayaların güvenliğinin sağlanması gibi işlevler üstlenir. Ayrıca, kent peyzajını düzenlemek, mekânlar dizisi oluşturmak, yapılar ve mekânlar arasındaki bağları kurmak veya ayırmak, olumsuz görsel etkileri önlemek, kent ile kırsal alan arasındaki bağı kurmak ve insan-doğa ilişkisini geliştirmek gibi estetik ve fonksiyonel katkılar da sağlar. Ağaçlar, yol üzerindeki araçların hızı ve yönü gibi verilerin doğru algılanmasına yardımcı olur ve çevredeki diğer nesnelere boyut ve mesafe ilişkisini düzenler.

Yüksek binaların çevrelediği yol alanlarını insan ölçeğine indirerek huzur verirler. Yoğun bitki dikimleri, özellikle kent meydanlarında, "tavan" etkisi yaratarak ortamı daha kapalı ve tanımlı hale getirir. Bitki tepe tacı dokusu, mekânın sınırlarını belirler veya yumuşatır, düzenli aralıklarla dikilen bitkiler ise mekân algısını güçlendirir. Herdem yeşil bitkiler yıl boyunca bu etkiyi sürdürürken, yaprak döken bitkiler kış aylarında mekânı daha geniş ve aydınlık kılar.

Ayrıca, çıkmaz sokaklar, kavşaklar ve yaya geçitleri bitkilerle sınırlandırılabilir ve bu alanların tanınabilirliği artırılabilir. Bitkiler, özellikle yaya ve taşıt trafiği açısından güvenlik sağlar; ağaçlar, çalılar gibi bitkiler kazaların etkisini azaltarak hız kesici bir rol üstlenir ve mal ve can kayıplarını önlemeye katkıda bulunur. Yol kenarlarındaki canlı çitler, yayalar için daha güvenli bir yürüyüş alanı sunar ve otoyolun dışında kendilerini güvende hissetmelerini sağlar.

Sürücüler için yönlendirme ve monotonluğu önleme, yayalar için ise sağlıklı, temiz ve güvenli yürüyüş alanları yaratmak adına bitkilerin doğru yerlerde ve uygun tekniklerle yerleştirilmesi gerekmektedir. Sıcak yaz günlerinde sürücüler ve yayalar, otoparklar ve dinlenme alanlarında doğru bitkilerle yapılan ağaçlandırma sayesinde gölgelenir ve çevresel faydalar elde ederler.

Dar yollar için küçük hacimli tepe tacına ve derin kazık kök sistemine sahip bitkiler tercih edilmeliyken, geniş cadde ve bulvarlarda ise daha büyük tepe tacına sahip, ancak yine kazık köklü bitkiler kullanılabilir. Böylece her iki durumda da bitkisel materyallerden maksimum verim elde edilmiş olur.

Konutların çevresindeki yeşil alanlar, yaşam kalitesini artıran temel unsurlar olduğundan, bitkilerin estetik ve sosyal işlevleri yerine getirmesi beklenmektedir. 1985 İmar Yönetmeliği'ne göre, binaların inşa edildiği alanın dışında kalan bölgenin en az %30'u yeşil alan olarak düzenlenmelidir (Anonim, 1993). Konut çevresindeki bitkilendirme çalışmaları, yapıların konumuna, ön bahçelerle ilişkisine, otopark alanlarına ve estetik kriterlere

göre farklı bitki türlerinin seçilmesiyle gerçekleştirilir.

Yaya yolları ve şehir meydanları, yayalara ve park eden araçlara hizmet etmek amacıyla, taşıt trafiğinden arındırılmış alanlardır. Bu alanlar, şehirdeki insanların ihtiyaçlarına yönelik olarak büfeler, çay ocakları, dinlenme bankları ve WC gibi sosyolojik ve ekonomik hizmetler sunar. Aynı zamanda, bu mekanlar topluma toplanma ve iletişim alanları sağlar. Bu sebeple özel tasarım gerektirir ve güvenli, çekici, davetkar olmaları istenir (Turna vd., 2021).

Toprağın sınırlı olduğu metro, yer altı garajları veya çarşıların üzerindeki yaya geçişlerinde, bitkisel materyal olarak büyük kaplarda yetişebilecek dayanıklı türlerin tercih edilmesi uygundur.

Otoparklarda ve çevresinde kullanılacak bitki türleri, taşıtlara gölgeleme sağlarken kar, rüzgar gibi abiyotik faktörlerden veya böcek ve mantar gibi biyotik etkenlerden etkilenmemelidir. Ayrıca, park eden araçlara zarar verebilecek reçine veya eterik yağ salgılayan bitkilerden kaçınılmalıdır.

Çim alanları, sadece görsel parlaklık ve dikkat çekici özellikleriyle değil, aynı zamanda dinlenme, huzur bulma, güneşlenme ve spor yapma gibi çok amaçlı işlevleriyle de öne çıkar. Bu nedenle, yeşil alanlardaki çim alanlarının miktarını artırmak ve yerleşimlerini doğru planlamak oldukça önemlidir. Pammay'ın (1971) belirttiğine göre, park alanlarının 2/5'i ağaç, ağaççık, çiçek ve yollara ayrılırken, 3/5'i çimenlik ve çayırılık alanlara tahsis edilmelidir.

Çim alanlarında başarı sağlamak için ekolojik koşullara uygun türlerin ve doğru karışım oranlarının belirlenmesi kadar, çim tohumlarının kalitesi de kritik bir faktördür. Bu nedenle, sertifikalı tohumların kullanılması önerilir ve tür seçiminde mutlaka uzman görüşüne başvurulmalıdır; bu süreç basit bir tercih olarak düşünülmemelidir.

Soğanlı ve yumrulu bitkilerin seçiminde; Bilindiği gibi sonbaharda dikilen ve ilkbaharda çiçeklenenlere güz soğanları (lale, safran, sümbül gibi), ilkbaharda dikilip yaz boyunca çiçek açanlara ise bahar soğanları adı verilir (Dirik, 2008).

Kentsel yeşil alanlarda Türkiye ölçeğinde mevcut uygulamaların genellikle masa başında hazırlanan projelere göre yapıldığı, tür seçiminin gerek ekolojik gerek biyolojik olarak doğru seçilmediği gibi seçilenlerinde doğru yerlerde kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Örneğin Doğu Karadeniz bölgesi kentlerinde zengin ve her türlü amaca yönelik bitki türleri doğal olarak bulunmasına rağmen bu türler yerine bölgeye ya da ülkeye yabancı türlerin tercih edildiği görülecektir.

Var vd. (2024), Eskiden şehirlerimiz, mimari kimliklerinin yanı sıra çınar, ihlamur, erguvan, narenciye ağaçları, manolya, palmiye ağaçları ve güller gibi

kendine özgü bitkisel kimlikleriyle tanınırken, son 50 yılda bu özelliklerini büyük ölçüde yitirmiştir. Günümüzde kentlerimiz, sıradanlaşmış ve farklı dönemlerde moda haline gelen Top Akasya, Melez Servi, Pittosporum çalısı, Alev Çalısı, Altuni Taflan gibi egzotik bitkilerle neredeyse bir tür kirliliğine maruz kalmıştır.

Kent kimliğini yansıtmaya, genetik kirliliğe neden olabilecek çok sayıda yabancı türün seçimi ve uygunsuz yerlerde kullanımının nereden kaynaklandığının sorgulanması gerekir. Bu konuda Var vd. (2024), tasarımcıdan (egzotik türlere hayranlık, bilgi yetersizliği, piyasada bulunma kolaylığı, sorunlu alanlarda daha dayanıklı egzotik taksonların olması, estetik değere sahip takson zenginliği) türleri, üreticiden (piyasa talebi, doğal taksonlarla ilgili bilgisizlik, doğal türlerde üretim materyali) ve proje sahibinden olmak üzere üç ana başlık altında toplamaktadır.

Bununla birlikte Türkiye kentlerinde yeşil alanların planlanması, tasarımı, bitki türlerinin seçimi ve büyük oranda uygulanması peyzaj mimarlığı meslek mensupları tarafından yapılıyor olması da eğitimdeki eksikliği oraya koymaktadır. Bu nedenle de tür seçiminin daha hassas bir şekilde değerlendirilmesi zorunludur. Önemli bir kural kentsel yeşil alanlarda, görsel kalitesi ve estetik değeri ne kadar güzel olursa olsun, ekolojik istekleri uygun olan bitkisel materyalin seçimi ve kullanılması zorunlu olmalıdır. Zira en güzel bitki, yaşayan ve fonksiyonel olan bitkidir.

## 2. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kentsel yeşil alanlarda bitkisel materyalin, aktüel ve optimal yeşil alanlara ve karbon bakımından nötr kentler oluşturmada en önemli göstergelerden bir olduğu unutulmamalıdır.

Materyal seçiminde alanın ekolojik özellikleri, taksonların biyolojik karakterleri, işlevleri, tesis maliyetleri, bakım ve koruma yöntemleri ile sürdürülebilirlikleri gibi teknik analizler iyi yapılmalıdır.

Kent ağaçlarının uzun ömürlü ekolojik bir bileşen olarak yaşlandıkça estetik ve işlevsel katkılar sunması, kentin karbon salınımını azaltarak yutak alanı işlevi görmesi, çeşitli ortamlarda yetiştirilebilmesi ve kent kimliğine katkı sağlaması gibi önemli özellikleri, sürdürülebilir ve bilimsel bir yaklaşımla ele alınmasını gerektirir. Bu nedenle, doğru “Planlama, Tasarlama, Uygulama ve Yönetim” çalışmalarının tekniğine uygun ve bütüncül bir şekilde gerçekleştirilmesi zorunludur.

Şehirlerimizin yetişme ortamı koşullarına uygun doğal bitkilerin tercih edilmesi ile kent kimliğinin ortaya konması, yaşanabilen alanların sağlanması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Tür seçiminde doğal türlere yer verilebilmesi için devlet orman fidanlıklarında olduğu gibi özel fidanlıklarda da yerli ve kaliteli fidan üretiminin teşvik

edilmesi sağlanmalıdır.

Birçok kentimizde olduğu gibi sadece estetik değerleri dikkate alan bitkisel materyal seçiminden kesinlikle kaçınılmalı, mümkün olduğunda adaptasyon yeteneği olan türlere (doğal türler) yer verilmelidir.



### 3. KAYNAKÇA

- Acar, C., Erođlu, E., Acar, H., Özdemir, M., & Turna, İ. (2009). Kent ormanları peyzaj tasarımı: Niksar kent ormanı örneği. *I. Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1, 214–223. Bartın.
- Anonim. (1993). *T.C. Bayındırlık İskân Bakanlığı, 3194 sayılı İmar Kanunu ve yönetmelikleri*. Yayın No: 58. Ankara.
- Aslanboğa, İ. (2002). *Odunsu bitkilerle bitkilendirmenin işleve uygun tasarımının ve bakımının planlanması ilkeleri*. Orman Bakanlığı, Eđe Orman Araştırma Müdürlüğü Yayını. İzmir.
- Dirik, H. (2008). *Plantasyon (Bitkilendirme ve dikim) teknikleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 490. İstanbul: ISBN 978-975-404-800-1.
- Gezer, A., & Gül, A. (2009). *Kent ormancılığı: Kavramsal-teknik ve kültürel boyutu (Urban Forestry-Conceptual-Technical and Cultural Dimensions)*. SDÜ Orman Fakültesi Yayın No: 86. Isparta, Türkiye.
- Gül, A. (2024). Karbon fiyatlama yaklaşımları ve yeşil alan ilişkisi. İnce, K. (Ed.), *Kentsel yeşil alanların sürdürülebilir yönetimi* (pp. 201–235). Iksad Publications. ISBN: 978-625-367-746-6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12698808>
- Pamay, B. (1971). *Park-bahçe ve peyzaj mimarisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 164. Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- Turna, İ., Acar, C., Güney, D., Kulaç, Ş., & Erođlu, E. (2006). Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris* L.) dallanma geometrisi ve form gelişimi üzerine bir araştırma. *18. Ulusal Biyoloji Kongresi Bildiriler Kitabı*, 26–30 Haziran 2006, Adnan Menderes Üniversitesi. Nobel Yayın No: 959, Fen ve Biyoloji Dizisi: 35. Kuşadası, Aydın.
- Turna, İ. (2017). *Kent ormancılığı (Kentsel yeşil alanlar)*. KTÜ Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 245. Trabzon.
- Turna, İ., Genç, M., & Güney, D. (2021). Doğa koruma odaklı ağaçlandırma. *Ekoloji ve ekonomi ekseninde Türkiye'de orman ve ormancılık* (pp. 119–160). Sonçađ Akademi, Ankara.
- Turna, İ., & Güney, D. (2021). Kent içi yol ağaçlandırmaları. *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler II*, 363–390. Gece Kitaplığı, Ankara.
- Turna, İ. (2024). Kentsel yeşil alanlarda bitkilendirme teknikleri. İnce, K. (Ed.), *Kentsel yeşil alanların sürdürülebilir yönetimi* (Bölüm 3, ss. 58–79). Iksad Publications. ISBN: 978-625-367-746-6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13274712>
- Ürgenç, S. (1998). *Genel plantasyon ve ağaçlandırma tekniği*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3997/444. İstanbul.
- Var, M. (2021). Doğal bitki materyalinin kent peyzajı ve millet bahçeleri için önemi. *Millet Bahçeleri Eđitimi*, 24–27 Mayıs 2021, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Var, M. (2024). Deprem sonrası kalıcı konutlarda peyzaj ile terapi. İnce, K. (Ed.), *Kent-*

*sel yeşil alanların sürdürülebilir yönetimi* (Bölüm 1, ss. 1–30). Iksad Publications. ISBN: 978-625-367-746-6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12698250>

Var, M., Sariarmağan Ceyhan, Ş., Yüzer, Ş., & Çalışkan Mimarlar, H. (2024). İklim değişikliğine uyum sağlamada doğal bitki türlerinin önemi ve kent kimliğine etkileri. İnce, K. (Ed.), *Kentsel yeşil alanların sürdürülebilir yönetimi* (Bölüm 2, ss. 31–57). Iksad Publications. ISBN: 978-625-367-746-6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12698268>

# BÖLÜM 2

## ÇEVRE DOSTU YAPI MALZEMESİ OLARAK ODUN-ÇİMENTO KOMPOZİT LEVHALAR

*Hüsnü YEL<sup>1</sup>,*  
*Uğur ARAS<sup>2</sup>*

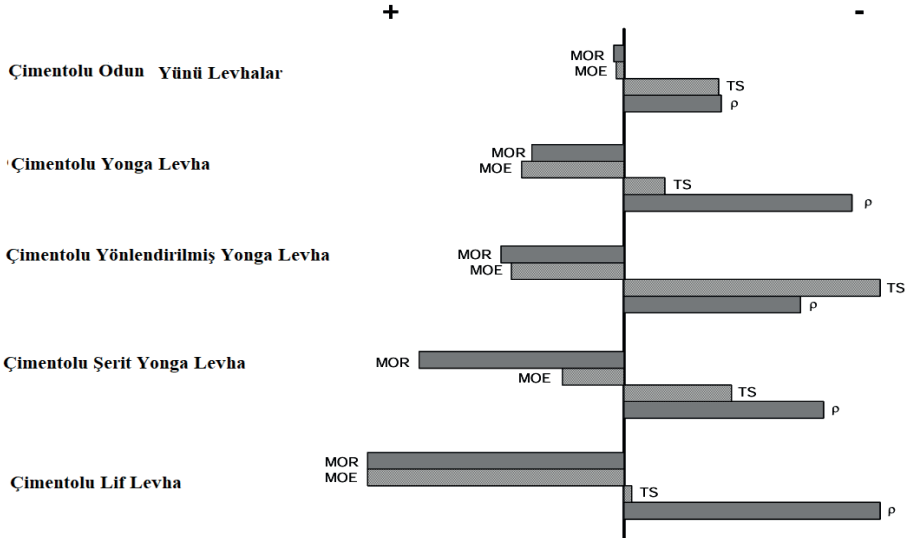
1 Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye, yel33@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0661-9109

2 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Trabzon, Türkiye, uaras@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1572-0727

## 1. GİRİŞ

Çevresel sorunlara ilişkin artan farkındalık; sürdürülebilirlik ve yeşil teknolojilere odaklanan alternatif kalkınma stratejileri arama çabalarını teşvik etmiştir. Odaklanılan alanlardan biri de yapı ve inşaat sektörüdür. Küresel ısınma ve doğal kaynakların yoğun kullanımı gibi acil sorunlar, yüksek düzeyde atık üretimiyle birleşince, sürdürülebilir çevre dostu yapı malzemelerine olan acil ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır (Gigar vd., 2023). Bu nedenle inşaat sektörü, yapısal dayanıklılık, çevresel sürdürülebilirlik ve işlevsel çok yönlülük arasında denge sağlayan yenilikçi yapı malzemelerini sürekli olarak araştırmaktadır (Esan, 2024). Odun-çimento kompozit levhalar, çevre dostu ve üretimi ucuz olduğu için yeşil binalarda kullanım için ideal bir adaydır (Gigar vd., 2023). Orman ürünleri endüstrisinde en yenilikçi ürünlerden biri olan odun-çimento kompozit levhalar; düşük üretim maliyeti, yüksek mekanik performans, düşük yoğunluk, uzun dönem hava koşullarına dayanıklılık, iyi akustik ve termal yalıtım, yüksek boyutsal kararlılık, suya, yangına, mantara ve böcek saldırılarına karşı yüksek direnç gibi mükemmel özellikleri nedeniyle inşaat ve yapı uygulamalarında kullanımı artmaktadır (Quiroga vd., 2016; Nasser vd., 2016; Yel vd., 2022). İnsan ve çevre üzerinde önemli zararlı etkileri olan malzemeler konusunda dünya çapında artan farkındalık; çevre dostu yapıları, arzu edilen kaliteleri ve uygulamada çok yönlülükleri nedeniyle odun-çimento kompozit levhaların önemini, popüleritesini ve kullanım alanlarını her geçen gün artırmaktadır (Rana vd., 2020; Hasan vd., 2021).

Odun-çimento kompozit levhalar, inorganic bağlayıcı kompozit levhaların bir türü olup, genel olarak odun, çimento, su ve az miktarda sertleştirici ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  vb.) kullanılarak üretilmektedir. Odun-çimento kompozit levhalar hem odun hem de çimentonun avantajlarını bir araya getirmektedir. Masif odun ve sentetik reçine bağlayıcı odun kompozitlerine göre, odun-çimento kompozit levhalar suya, biyolojik bozunmaya ve yangına karşı çok daha yüksek dayanıma sahiptir. Betona göre ise, odun-çimento kompozit levhalar daha hafiftir ve daha iyi işlenebilirliğe, daha yüksek çekme ve eğilme dayanımına, daha esnek bir yapıya, iyi akustik özelliklere ve termal izolasyona sahiptir (Frybort vd., 2008). Odun; odun-çimento kompozitlerinde güçlendirici ve dolgu olarak lif, yonga, şerit, etiket veya yün formlarında kullanılmakta ve buna göre adlandırılmaktadır. Odun-çimento kompozit levha çeşitleri ve temel özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 1'de verilmiştir.



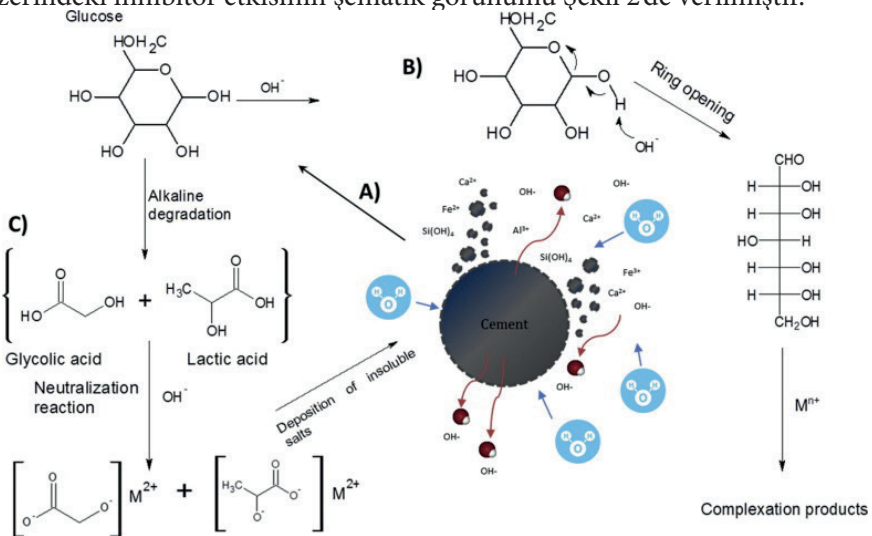
Şekil 1. Odun-çimento kompozit levhaların bazı temel özelliklerinin karşılaştırılması (MOR: Eğilme direnci; MOE: Eğilmede elastikiyet modülü; TS: Kalınlık artımı değeri;  $\rho$ : Yoğunluk) (Frybort vd. 2008).

Odun/çimento oranı, su/çimento oranı, yonga geometrisi, sertleştirici türü ve miktarı, ortam sıcaklığı, çimento türü, ağaç türü, ağaç yaşı ve yetiştirme ortamı, ağaçtan alınan bölge (öz odun, diri odun vb), ağaç kesim zamanı, odun depolama koşulları, presleme şartları (basınç, sıcaklık vb.), yoğunluk, kürlenme şartları (süre, sıcaklık ve bağıl nem vb.) gibi birçok faktör odun-çimento kompozit levhaların kalitesini etkilemektedir (Na vd., 2014; Bharmie, 2020; Yel, 2022). Ancak odun-çimento kompozit levhaların üretiminde karşılaşılan en büyük zorluk; çimento hidrasyonunu engelleyen bileşiklere (şekerler, ekstraktifler vb.) sahip olan odun ile çimento arasındaki uyumsuzluktur. Şeker ve ekstraktiflerin içeriği ağaç türüne göre farklıdır göstermektedir. Bu nedenle, her ağaç türü odun-çimento kompozit levha üretimi için uygun değildir. Çok az ekstraktif madde içermeleri nedeniyle odun-çimento kompozit levha üretimi için en uygun kavak ve ladin ağaç türleri olup yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bharmie vd., 2020).

Odun hammadesinin çimento hidrasyonu üzerindeki etkisini en aza indirmek ve odun-çimento uyumluluğunu artırmak için üretimden önce odun yongalarının suğuk/sıcak su ve NaOH ekstraksiyonları gibi farklı ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Ancak bu, üretim maliyetlerinde bir artışa neden olabilmektedir. Daha ekonomik ve daha pratik olan  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_4$ ,  $\text{FeCl}_3$  gibi bazı kimyasal maddeler odun-çimento karışıma ilave edilerek odun-çimento uyumluluğu artırılabilir (Rana vd., 2020; Hasan vd., 2021).

## 2. ODUNUN ÇİMENTO HİDRATASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

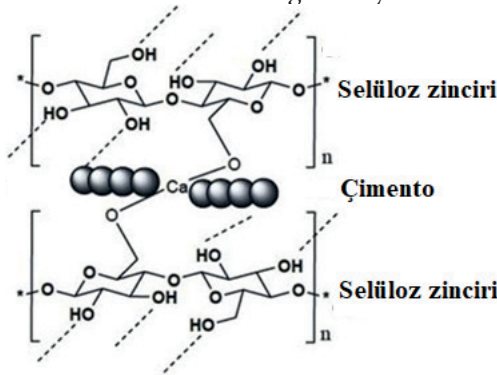
Odun bileşenlerinin çimento hidratasyonunu geciktirici veya engelleyici etkisi farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır. Su odun yongaları ile temas ettiği anda, hemiselüloz, nişasta, şekerler, fenoller ve hidroksillenmiş karboksilik asitler gibi suda çözünebilir inhibitör maddeler çözünmeye ve odun yongasından ayrılmaya başlamaktadır. Çimento, ortamın alkalinitesini artırması nedeniyle bu süreç hızlanmakta ve inhibitör maddelerin difüzyonunu teşvik etmektedir (Doudart de la Grée, 2014). Suda çözünen hemiselülozların alkali çimento pastasında hidroliz olmakta ve karboksilik aside dönüşmektedir. Alkali degradasyon ürünleri çimento hidratasyonunu engellemede odun ekstraktiflerinden üç kat daha etkilidir (Govin vd., 2005). Hemiselüloz ve diğer maddelerin alkali hidrolizi; lignin, polisakkaritler ve şekerlerin kalsiyum tuzlarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum, farklı hidratasyon ürünleri oluşturarak çimento hidratasyonunu engellenmesine ve kristal yapının değişmesine neden olmaktadır (Aggarwal ve Singh, 1990; Doudart de la Grée, 2014). Diğer taraftan odun yongaları, potasyum (K<sup>+</sup>) ve kalsiyum (Ca<sup>2+</sup>) iyonlarını belli bir ölçüde emebilirler. Bu durum, çimento sertleşmesini destekleyen hidratasyon ürünlerinden gelen kalsiyumun çözültiden uzaklaştırılmasına, çimento sertleşmesi için kullanılabilirliğinin azalmasına ve bu sürecin bir dereceye kadar bozulmasına yol açabilmektedir (Doudart de la Grée, 2017). Diğer taraftan, higroskopik yapıları nedeniyle odun yongaları, çimento hidratasyonu için gerekli olan suyu emebilir ve bu da çimentonun kürlenmesi için kullanılan su miktarının azalmasına neden olabilir (Pereira vd., 2006; Wei vd., 2004; Doudart de la Grée, 2014). Ayrıca, çimentonun bileşimi, odun ve çimento arasındaki uyumluluk ve ortaya çıkan mekanik özellikler üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Frybort vd., 2008). Glikozun çimento hidratasyonu üzerindeki inhibitör etkisinin şematik görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Glikozun çimento hidratasyonu üzerindeki inhibitör etkisinin şematik görünümü (A: Çimento parçacıklarının çözünmesi; B: Glikozun halka açılması ve metal iyonlarının kompleksleşmesi; C: Çimento yüzeyinde çökelen asit ve tuzların oluşumu) (Doudart de la Gré vd., 2017).

### 3. ODUN-ÇİMENTO BAĞLANMA MEKANİZMASI

Sentetik reçinede olduğu gibi odun ve çimento arasında hem fiziksel hem de mekanik bir bağlanma söz konusudur. Odun ve çimento arasındaki mekanik bağlanma, odun-çimento kompozit levhaların dayanımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Ahşabın gözenekli yapısı ve pürüzlü yüzeyi, çimento hidratasyon ürünleri ile ahşap parçacıkları arasındaki mekanik bağlanmanın oluşumuna büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır (Hermawan vd., 2001). Çimento hidratasyonun başlamasıyla birlikte çimento bileşenleri, odun hücre duvarına doğru taşınmaya başlamakta ve odun yapısına (özellikle reçine kanalları, öz ışınları ve lümenine) derinlemesine nüfuz etmekte ve burada katılmaktadır (Dewitz vd., 1984; Frybort vd., 2008). Bu durum, çimento matrisi ve odun arasında kuvvetli bir mekanik bağlanmaya neden olmaktadır.



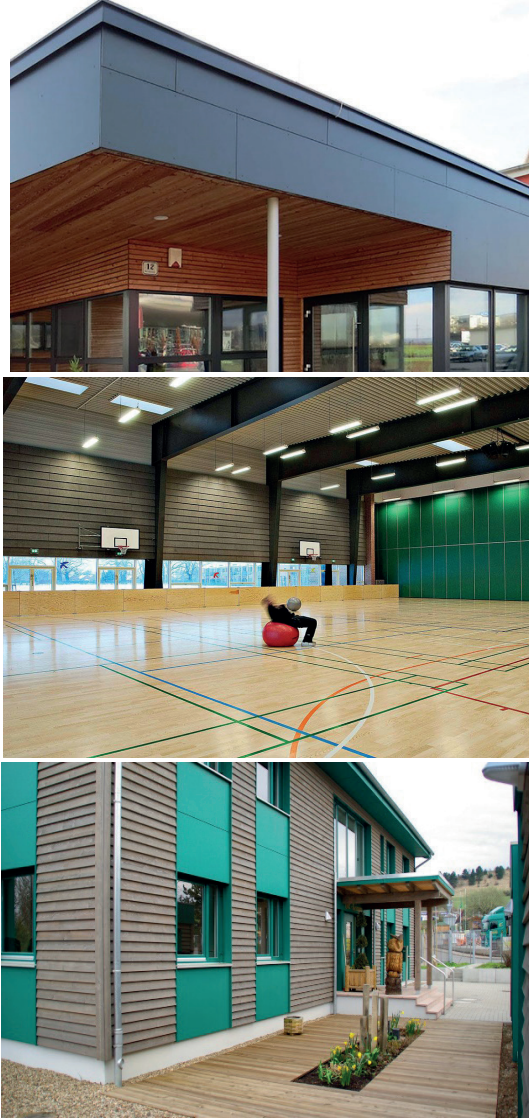
Şekil 3. Çimento hidratasyon ürünleri ile selüloz zincirinin muhtemel bağlanma mekanizması (Jo ve Chakraborty, 2015).

Çimento, çok yüksek alkali (>12.5) bir malzeme olup metal hidroksi grupları içermektedir. Odun ise kovalent hidoksil grupları içermektedir. Çimento ve odunun kimyasal morfolojisi nedeniyle, hidrojen bağları ve/veya hidroksil köprüleri, odun-çimento kompozit levhaların iç bağlanma kuvvetinde önemli bir rol oynamaktadır. Kuru odun-çimento kompozit levhalarının, yaş olanlara göre daha yüksek direnç değerleri göstermesi hidrojen bağları veya hidroksil köprülerinin olduğunun kanıtı olarak gösterilmektedir. Çünkü su, hidroksil grupları veya hidrojen bağlarının arasına girerek bu bağları bozduğu için yaş levhaların direnci daha düşük çıkmaktadır (Coutts and Kightly 1984; Frybort vd., 2008). Şekil 3'te odunun ana bileşenlerinden olan selüloz ile çimento hidratasyon ürünlerinin kimyasal bağlanma mekanizmasının şematik görünümü verilmiştir.





Çimentolu yonga levhalar, yüksek darbe dayanımı yanında suya, yangına (B1 ve A2 sınıfı), mantara, böceğe, termite ve donma-çözölmeye karşı yüksek dirence sahip olduğundan dolayı iç ve dış mekan kullanımlarına uygundur. Ayrıca asbest ve zararlı uçucu bileşikler (formaldehit vb) içermemesi nedeniyle çevre dostu bir üründür. Çimentolu yonga levhalar, prefabrik ev imalatı, her türlü yapı için dış cephe kaplaması, kalıcı kalıp, acil barınak, geçici ofis alanı gibi modöler üniteler, zemin kaplaması, ıslak oda kaplaması gibi birçok alanda kullanım alanı bulmaktadır (Anonim-3, 2024). Şekil 5'te çimentolu yonga levhanın bazı kullanım alanları gösterilmektedir.



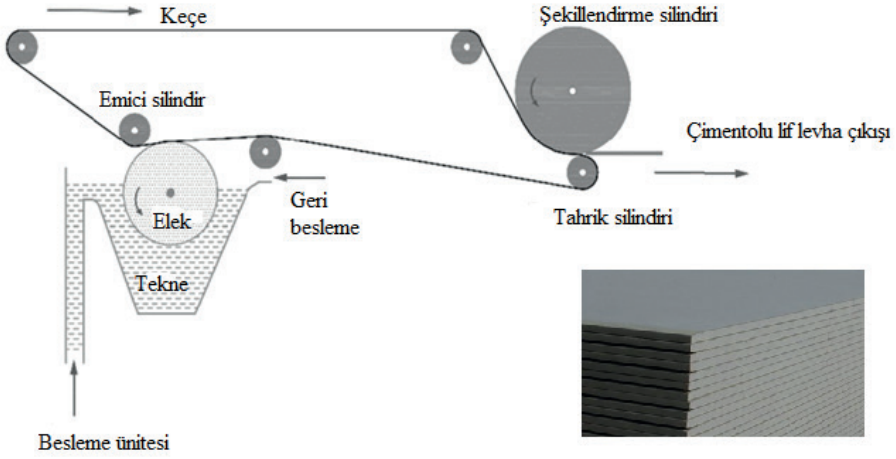


Şekil 5. Çimentolu yonga levhanın kullanım alanları (Anonim-4, 2024).

#### 4.2. Çimentolu Lif Levha

Çek mühendis Ludwik Hatschek tarafından 1900 yılında asbest lifi ve Portland çimentosu kullanılarak geliştirilen ve patenti alınan çimentolu lif levhalar, yaklaşık 100 yıldır inşaat, çoğunlukla çatı kaplanmasında, kullanılmaktadır. Çimentolu lif levhalar, kağıt üretimindeki sisteme benzeyen Hatschek yöntemi kullanılarak üretilmektedir (Şekil 6). 1920'li yıllarda çimentolu lif levha üretimi tüm dünyaya yayılmıştır. 1970'li yıllarda asbest lifinin sağlığa zararlı olduğu tespit edilmesiyle çimentolu lif levha üretiminde kullanımı yasaklanmıştır (Schabowicz ve Gorzelańczyk, 2018). Özelliklerine, etkinliğine ve maliyetine bağlı olarak, buğday sapı, kraft hamuru, sisal, jüt, çelik, cam, akrilik ve polivinil alkol lifleri gibi çok çeşitli doğal ve sentetik lifler, çimentolu lif levhaların üretiminde asbest liflerinin alternatifleri olarak günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Khoram vd., 2016).

Çimentolu lif levha, çok yönlü, güçlü ve dayanıklı bir yeşil yapı malzemesidir (Schabowicz ve Gorzelańczyk, 2018). Ayrıca, suya, mantara, yangına, termite ve böceklere karşı yüksek dayanımı yanında, çok iyi bir ısı ve ses yalıtımı sağlamaktadır. Çok farklı renk ve desen özelliklerine sahip olduğu için kullanım alanı oldukça geniştir. Çimentolu lif levhalar, hem yeni inşa edilmiş hem de yenilenmiş binalarda havalandırılmalı cephe kaplaması, iç duvar kaplamaları, balkon korkuluk panelleri, oluklu çatı kaplaması, çatı arduvazı, laboratuvar ve mutfak tezgahları, karo destek levhası, baca kaplaması ve muhafaza sofit astarı olarak tercih edilmektedir (Schabowicz ve Gorzelańczyk, 2018; Anonim-6, 2024). Şekil 7'de çimentolu lif levhaların bazı kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 6. Hanschek sistemi ve çimentolu lif levha (Schabowicz ve Gorzelańczyk, 2018).

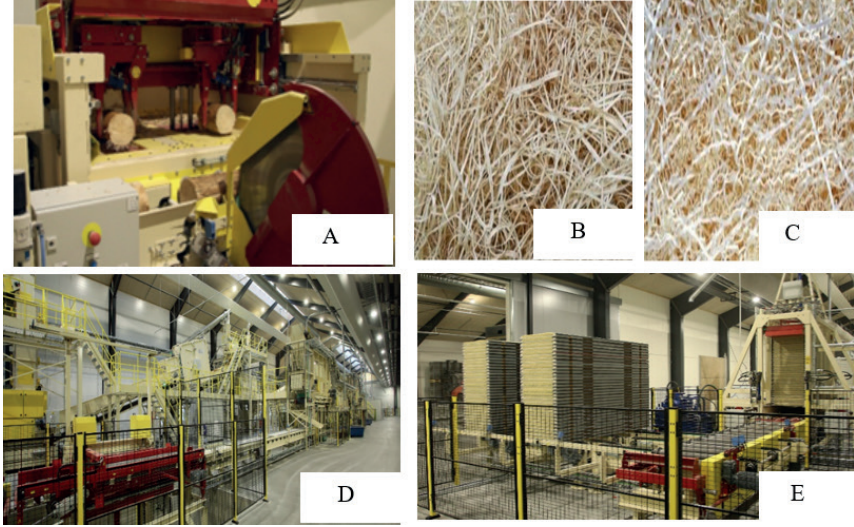


Şekil 7. Çimentolu lif levhaların kullanım alanları (Anonim-5, 2024).

### 4.3. Çimentolu Odun Yünü Levhalar

Çimentolu odun yünü levhalar (ÇOYL), 1920'li yıllarda geliştirilmiş olup, şu anda dünyada birçok ülke tarafında üretilmeye devam edilen düşük yoğunluklu ( $350-570 \text{ kg/m}^3$ ) ve çok yönlü bir yapı malzemesidir. Bu levhalar, odunun nişasta ve şeker içeriğini azaltmak için farklı sürelerde depolanmış, kabuğu soyulmuş yumuşak veya sert ağaç tomruklardan üretilmektedir. Depolama sonrası tomruklar 50 cm boyutlarında kesilmektedir. Daha sonra bu odunlardan tarak şeklinde bıçaklara sahip odun yünü makinesinde  $1-5 \times 50 \times 0,2-0,5$  mm boyutlarında odun yünü elde edilmektedir. Çimentolu odun yünü levhalar genellikle  $15-200 \times 2000-3000 \times 500-600$  mm boyutlarında üretilmektedir (Van Elten, 2006b). Şekil 8'de odun yünü üretim makinesi, farklı kalınlıklardaki odun yünüleri ve çimentolu odun yünü levhaların üretim hattı gösterilmek-

tedir. Çimentolu odun yünü levhalar, mükemmel akustik performans, yangına dayanıklılık (B1 ve A2 sınıfında), enerji tasarrufu sağlayan iyi ısı yalıtımı, geniş yelpazede tasarım ölçüleri, suya, mantara ve böceğe karşı dayanım, donma-çözülmeye karşı direnç gibi önemli özelliklere sahiptir (Anonim-3, 2024).



Şekil 8. Odun yünü makinesi (A), farklı kalınlıkta odun yünleri (B ve C), serme hattı (D) ve presleme hattı (E) (Anonim-3, 2024; Van Elten, 2006b)

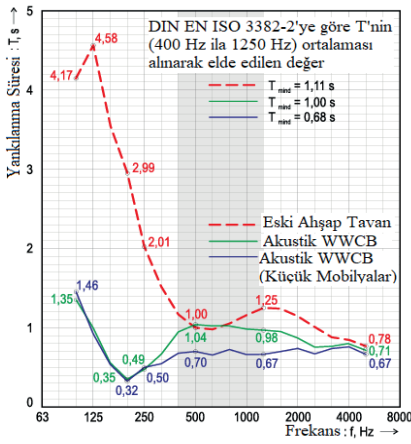
Çimentolu odun yünü levhalar, istenilen özellik ve kullanım amacına göre normal ÇOYL (odun yünü genişliği 3-5 mm), akustik veya dekoratif ÇOYL (odun yünü genişliği 1-2 mm), kompozit veya sandviç ÇOYL (orta tabakada genişleştirilmiş polistiren sert köpük, ekstrüde polistiren veya taşıyıcı, yüzey tabakalarda ÇOYL kullanılmaktadır), yüksek yoğunluklu (1000-1100 kg/m<sup>3</sup>) ÇOYL ve büyük boyutlu ÇOYL duvar elemanı (40 cm kalınlıkta) şeklinde üretilmektedir (Ruckert, 2008; Van Elten, 2006b).

Estetik gereksinimlere göre, çimentolu odun yünü levhalar (ÇOYL) istenilen renge boyanabilmektedir. Boyama yapılacak ÇOYL, gri çimento asla tamamen görünmez olamayacağı için, genellikle beyaz çimento ile üretilmektedir. Ancak bu, maliyette önemli bir artışa neden olmaktadır (Doudart de la Grée vd., 2014). Şekil 9'da farklı renklere boyanmış çimentolu odun yünü levha örnekleri gösterilmektedir.





Şekil 9. Farklı renklere boyanmış çimentolu odun yünü levhalar (Anonim-1, 2024; Anonim-2, 2024).



Ahşap Tavanlı Anaokulu



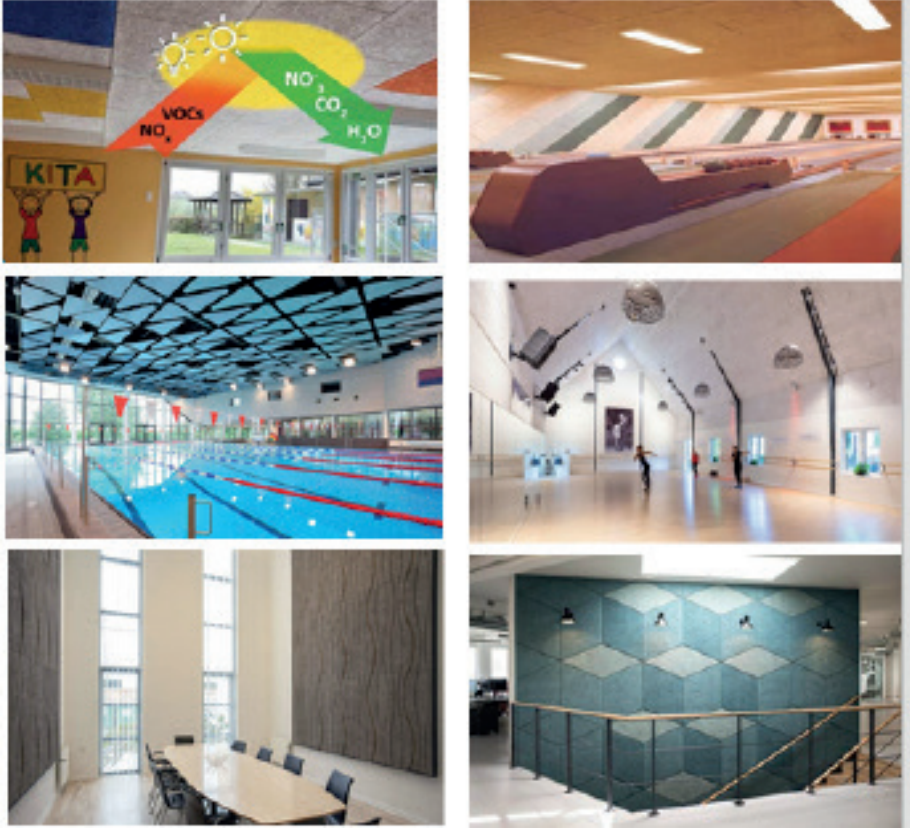
Akustik WWCB Tavanlı Anaokulu

10. Ahşap ve akustik çimentolu odun yünü levhaların ses yankılanma sürelerinin karşılaştırılması (Test enstitüsü: BAE Fiedler - Akustik ve Ofis Mühendislik, test raporu no: BAE 16-302)(Anonim-2,2024).

Yüksek temas alanı ile birlikte büyük gözenekli ve açık yapısı nedeniyle ÇOYL, ses dalgalarını kolayca absorbe edebilmektedir. Absorbe, çoğunlukla 500 Hz ve üzeri ses frekansları için etkilidir. Ancak levha kalınlığının artırılmasıyla 125-500 Hz arasındaki düşük frekanslarda daha yüksek absorbe elde edilebilmektedir (Doudart de la Grée vd., 2014). Akustik ÇOYL ile kaplanmış tavanların ses yankılanması, ahşap ile kaplanmış tavanlara göre %50 daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Anonim-2, 2024). Şekil 10'da ahşap ve akustik çimentolu odun yünü levhaların ses yankılanma sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Pencere camlarından tavana yansıyan güneş ışığı ve aynı zamanda lambalardan gelen yapay ışık, çimentolu odun yünü levhaların hava temizleme

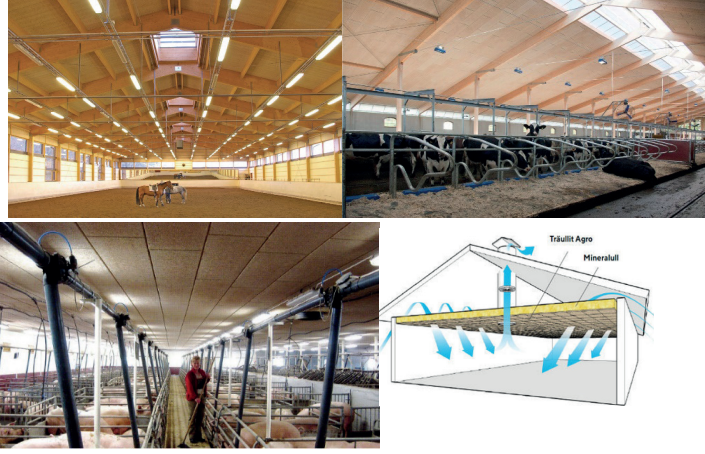
işlevini etkinleştirir. Uçucu organik bileşikler (örn. formaldehit) ve  $\text{NO}_x$  (örn. araç egzoz dumanları) gibi zararlı gazlar oda havasından uzaklaştırılır. Ayrıca kokular (örn. sigara dumanı veya yemek kokuları) azaltılabilir. Mikrobiyal istila riski de önemli ölçüde azalır (Anonim-2, 2024). Böylece, ÇOYL iç mekan hava kalitesini artırarak insanlar için daha sağlıklı bir yaşam alanı sunmaktadır. Şekil 11’de ÇOYL iç mekânda kullanım örnekleri verilmiştir.



Şekil 11. Çimentolu odun yünü levhaların akustik ve dekoratif amaçlı uygulamaları (Anonim-2, 2024; Anonim-3, 2024)

Sığır, koyun, keçi, at ve domuz gibi ahırlarda veya ağıllarda tutulan hayvanlar için sağlıklı ortamların sağlanmasında hava akışının kontrolü oldukça önemlidir. Bu nedenle, ÇOYL inek, domuz veya tavuk ahırları/ağılları gibi hayvancılık sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada levhalar yalnızca hayvanlar için gereken ses ve ısı yalıtımını ve “konforu” sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ahırlar/ağıllarda temiz havanın eşit şekilde dağıtılması için “doğal difüzyon filtresi” görevi de görmektedir. Bu tür çimentolu odun yünü levhalar, hava akışı sağlamak için daha düşük yoğunlukta üretilmektedir (Van Elten, 2022). Şekil 12’de çimentolu odun yünü levhaların hayvancılık sek-

töründeki uygulamaları verilmiştir.



Şekil 12. Hayvancılık sektöründe çimentolu odun yünü levhaların kullanımı (Van Elten, 2022).

#### 4.4. Çimentolu Şerit Yonga Levhalar

Çimentolu şerit yonga levhalar, 2000 yılında Hollandalı Eltomation firması tarafından geliştirilmiştir. Bu levhaların üretiminde kalınlığı 0.25 mm ve genişliği 8 mm olan şerit yongalar ve Portland çimentosu kullanılmaktadır. Bu şerit yongaların üretiminde odun yünü üretim makinesi kullanılmakta olup, makinenin tarak şeklindeki bıçaklarının arası daha geniş ayarlanmaktadır. Şekil 13'te şerit yonga üretim makinesinin 16 bıçaklı diski, şerit yongalar, levha taşlağının preslenmesi ve basınç altında kütleme işlemi gösterilmektedir. Çimentolu şerit yonga levhalar genellikle 2400-3050x600-610x6-25 mm boyutlarında ve 1100 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta üretilmektedir (Van Elten, 2006b).





Şekil 13. Eltomatic CVS-16 yongalama diski (a), şerit yongalar (b), presleme (c) ve kürleme (d) (Van Elten, 2006b).

Odun yongaları yerine şerit yongaların kullanılması çimentolu odun yünü levhaları, çimentolu yonga lehalara göre daha dayanıklı ve daha hafif hale getirmiştir. Çimentolu odun yünü levhalar, suya, yangına, mantara, termitlere, böceklerle, donma-çözülme döngülerine ve her türlü iklim koşullarına karşı yüksek dayanıma sahiptir. Asbest, formaldehit, toksik maddeler veya herhangi başka tehlikeli bir madde içermediği için iç ve dış mekan kullanımlarına uygun çevre dostu çok yönlü bir yapı malzemesidir.



Şekil 14. Çimentolu şerit yonga levhaların bazı kullanım alanları (Anonim-3, 2024; Van Elten 2006b)



Çimentolu şerit yonga levhalar, zemin düşemesi ve döşeme altlığı, dış cephe kaplaması, beton kalıp sistemleri için kalıcı kalıp, prefabrik ev yapımı, ses bariyer duvarları, orta ve düşük maliyetli konut, oluklu çatı kaplama levhaları, çatı kiremitleri, yangına dayanıklı yapılar (B1 sınıfı) gibi birçok kullanım alanına sahiptir (Aro, 2008; Anonim-3, 2024). Şekil 14'te çimentolu odun yünü levhaların kullanım alanlarına ait örnekler gösterilmektedir.

## 5. SONUÇ

Odun-çimento kompozit levhalar, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de üstün mekanik performansları nedeniyle yapı sektörü için son derece cazip malzemelerdir. Çeşitli üretim teknikleri ve bileşenleri sayesinde bu levhalar, geniş bir kullanım alanına sahiptir ve suya, yangına, mantara, böceklere ve çeşitli iklim koşullarına karşı yüksek direnç göstermektedir. Ayrıca, hafiflik, yüksek işlenebilirlik, akustik ve termal yalıtım özellikleri gibi avantajlarıyla, modern inşaat uygulamalarının beklentilerini karşılamaktadır. Bununla birlikte, odun ve çimento arasındaki uyumluluğun optimize edilmesi, çimento hidrasyonunu etkileyen odun ekstraktiflerinin giderilmesi ve üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik yenilikçi yaklaşımlar, bu alandaki araştırmaların öncelikli konularıdır. Sonuç olarak, odun-çimento kompozit levhalar, çevre dostu yeşil yapı malzemesi ihtiyacına etkin bir çözüm sunmakta ve sürdürülebilir bir inşaat sektörü hedefinde önemli bir rol üstlenmektedir. Gelecekte, bu alandaki teknolojik gelişmeler ve yeni tasarımlar, bu malzemelerin kullanımını daha da yaygınlaştıracaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Aggarwal, L.K., Singh, J. (1990). Effect of plant fibre extractives on properties of cement, *Cement Concrete Composites*, 12(2): 103–108, [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(90\)90047-2](https://doi.org/10.1016/0958-9465(90)90047-2).
- Anonim-1, (2024). Wood wool cement boards, <https://www.takemura.co.jp/> (Erişim tarihi: 10.11.2024).
- Anonim-2, (2024). Wood wool cement boards, <https://fibrolith.de/wp-content/uploads/2023/07/fibrolith-lieferprogramm-dt.pdf> (Erişim tarihi: 15.11.2024).
- Anonim-3, (2024). Cement-bonded particleboards, wood wool cement boards, wood strand cement boards, <https://www.eltomation.com/eng/> (Erişim tarihi: 18.11.2024).
- Anonim-4, (2024). Cement-bonded particleboard applications, <https://www.amroc.de/en/cement-bonded-particle-boards/application-fields.html> (Erişim tarihi: 20.11.2024).
- Anonim-5, 2024. Cement fiber board applications, <https://www.indiamart.com/proddetail/fiber-cement-siding-board-18644540330.html> (Erişim tarihi: 25.11.2024).
- Anonim-6, (2024). Cement fiber board properties and applications, <https://www.jameshardie.co.uk/en/what-is-fibre-cement>, (Erişim tarihi: 30.11.2024).
- Aro, M. (2008). Wood strand cement board, 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, 5-7 Ekim, Madrid/İspanya.
- Bharmia, F.Z., Horvath, P.G., Alpar, T.L. (2020). Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composites: A review, *Bioresources* 15(3): 7288-7308, <http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.3.Bharmia>.
- Coutts, R. S. P., and Kightly, P. (1984). Bonding in wood fibre-cement composites, *Journal of Material Science* 19: 3355-3359, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00549827>
- Doudart de la Grée, G.C.H. Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H. (2017). Assessing the effect of CaSO<sub>4</sub> content on the hydration kinetics, microstructure and mechanical properties of cements containing sugar, *Construction and Building Materials* 143:48–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.067>.
- Doudart de la Grée, G.C.H., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H. (2014). Wood-wool cement board: potential and challenges. In V. Bilek, & Z. Kersner (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference Non-Traditional Cement and Concrete (NTCC2014)*, 16-19 Haziran 2014, Brno/Çek Cumhuriyeti, 279-282. <https://pure.tue.nl/ws/files/3841378/449247297565249.pdf>.
- Esan, M.T. (2024). Review of gypsum reinforced composites as building materials, *Discover Civil Engineering* 1:5, <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00005-x>.
- Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., Müller, U. (2008). Cement bonded composites- a mechanical review, *Bioresources* 3(2): 602-626, <http://dx.doi.org/10.15376/bi>

[ores.3.2.602-626.](#)

- Gigar, F.Z., Khennane, A., Liow, J.L., Tekle, B.H., Katooz, E., Katooz, G.E. (2023). Recycling timber waste into geopolymer cement bonded wood composites, *Construction and Building Materials* 400: 132793, <https://doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2023.132793>.
- Govin, A., Peschard, A., Fredon, E., Guyonnet, R. (2005). New insights into wood and cement interaction, *Holzforschung* 59(3): 330-335, <http://dx.doi.org/10.1515/HF.2005.054>.
- Govin, A., Peschard, A., Guyonnet, R. (2006). Modification of cement hydration at early ages by natural and heated wood, *Cement Concrete Composites* 28(1):12–20, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.09.002>.
- Hasan, K.M.F., Horvath, P.G., Alpar, T. (2021). Development of lignocellulosic fiber reinforced cement composite panels using semi-dry technology, *Cellulose* 28 (2021) 3631–3645, <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03755-4>.
- Hermawan, D., Hata, T., Umemura, K., Kawai, S., Nagadomi, W., Kuroki, Y. (2001). Rapid production of high-strength cement-bonded particleboard using gaseous or supercritical carbon dioxide, *Journal of Wood Science* 47:294-300, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00766716>.
- Jo, B.W., Chakraborty, S. (2015). A mild alkali treated jute fibre controlling the hydration behaviour of greener cement paste, *Scientific Reports* 5:7835, <https://doi.org/10.1038/srep07837>.
- Khoramia, M., Ganjiana, E., Srivastav, A., (2016). Feasibility study on production of fiber cement board using waste kraft pulp in corporation with polypropylene and acrylic fibers, *Materials Today: Proceedings* 3:376–380, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.01.023>.
- Na, B., Wang, Z., Wang, H., Lu, X. (2014). Wood-cement compatibility review, *Wood Research* 59 (5): 813-826.
- Nasser, R.A., Salem, M.Z.M., Al-Mefarrej, H.A., Aref, I.M. (2016). Use of tree pruning wastes for manufacturing of wood reinforced cement composites, *Cement Concrete Composite* 72: 246–256, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.06.008>.
- Pereira, C., Jorge, F.C., Irle, M., Ferreira, J.M. (2006). Characterizing the setting of cement when mixed with cork, blue gum, or maritime pine, grown in Portugal II: X-ray diffraction and differential thermal analyzes, *Journal of Wood Science* 52(4): 318–324, <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0774-z>.
- Quiroga, A., Marzocchi, V., Rintoul, I. (2016). Influence of wood treatments on mechanical properties of wood-cement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers, *Composite-BEngineering* 84:25–32, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.08.069>.
- Rana, M.N., Islam, M.N., Nath, S.K., Das, A.K., Ashaduzzaman, M., Shams, M.I. (2020). Influence of chemical additive on the physical and mechanical pro-

- properties of cement - bonded composite panels made from jute stick, *Journal of Building Engineering* 31: 101358, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101358>.
- Ruckert, M., Träullit Large Wall Elements, 11th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), Madrid, İspanya, Ekim 2008, 163-168.
- Schabowicz, K., Gorzelańczyk, T. (2018). The Fabrication, testing and application of fibre cement boards, Editörler: Zbigniew Ranachowski and Krzysztof Schabowicz, Cambridge Scholars Yayınevi, İngiltere.
- Van Elten, E.J. (2022). Innovative production technologies and applications in the field of wood cement products, 17th International Inorganic-Bonded Fiber Composite Conference (IIBCC 2022), 15–18 Kasım 2022, Hamburg/Almanya.
- Van Elten, E.J. (2006a). Cement-bonded particleboard (CBPB) and wood strand cement board (eltoboard): production, properties and applications, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 15-18 Ekim 2006, São Paulo/Brezilya.
- Van Elten, E.J. (2006b). Production of wood wool cement board and wood strand cement board (eltoboard) on one plant and applications of the products, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 15-18 Ekim 2006, São Paulo/Brezilya.
- Wei, Y.M., Fujii, T., Hiramatsu, Y., Miyatake, A., Yoshinaga, S., Fujii, T., Tomita, B. (2004). A preliminary investigation on microstructural characteristics of interfacial zone between cement and exploded wood fiber strand by using SEM-EDS, *Journal of Wood Science* 50(4): 327–336, <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-003-0576-0>.
- Yel, H. (2022). Effect of alkaline pre-treatment and chemical additives on the performance of wood cement panels manufactured from sunflower stems, *Journal of Building Engineering* 52: 104465, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104465>.
- Yel, H. (2015). Bazı üretim faktörlerinin çimentolu yongalevhaların özellikleri üzerine etkileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

# BÖLÜM 3

## ORMANCILIKTA ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE KARIŞIK ETKİLİ DOĞRUSAL OLMAYAN REGRESYON MODELLEME SÜREÇLERİNİN KULLANIMI

*İlker ERCANLI<sup>1</sup>*

*Abdurrahman ŞAHİN<sup>2</sup>*

1 Prof. Dr. İlker ERCANLI, <https://orcid.org/0000-0003-4250-7371>,  
[ilkerercanli@karatekin.edu.tr](mailto:ilkerercanli@karatekin.edu.tr), Ç.K.Ü. Orman Fakültesi Orman Mühendisliği  
Bölümü Orman Hasılatı ve Biyometri A.B.D., 18200, ÇANKIRI

2 Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN, <http://orcid.org/0000-0002-9435-9844>,  
[asahin@artvin.edu.tr](mailto:asahin@artvin.edu.tr), A.Ç.Ü. Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü  
Orman Amenajmanı A.B.D., 08000, ARTVİN

## GİRİŞ

Ormancılıkta, ağaçların toplam boyları ile göğüs yüksekliğinde ölçülen göğüs çapları arasındaki ampirik ilişkiler regresyon modelleri ile ifade edilebilirken, bu modeller meşcere boy eğrileri olarak adlandırılmaktadır (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984). Meşcere boy eğrilerinin ve modellerinin orman envanterinde ki yeri ve önemi, çeşitli nedenlerle boyu ölçülemeyen ağaçların boy değerlerinin tahmin edilmesidir (van Laar & Akça, 2007). Çünkü çoğu orman envanteri uygulamasında, örnek alanlardaki tek ağaçların göğüs çap ölçümleri kolaylıkla gerçekleştirilebilirken, tüm ağaçların boyları, boy ölçümünün zor ve zaman alıcı olması ve özellikle de oldukça pahalı cihazların kullanımını gerektirmesi nedeniyle ölçülememektedir.

Genel bir uygulama olarak da boyları ölçülemeyen ağaçların boy değerleri, alt bir örnekleme olarak (sub-samples) boyları ölçülen ağaçların verileri kullanılarak geliştirilen çap-boy eğrileri ve modelleri kullanılarak tahmin edilmektedir (Kalıpsız, 1984; Avery & Burkhart, 1983). Bu uygulama, orman envanterinde meşcere boy eğrilerinin ve denklemlerinin en yaygın kullanımı olup, bu uygulamaya en iyi bir örnek, Amerika Birleşik Devletleri'nin tamamında ve Kanada'da belli bölgelerinde yaygın ve başarılı bir kullanım alanı olan ve bu bakımdan da önde gelen büyüme simülütörlerinden olan Orman Vejetasyon Simülütörü (Forest Vegetation Simulator, FVS) sistemi içinde de yer alan "Filling in Missing Heights" bölümünde belirtildiği üzere, tüm ağaçların boy değerleri ölçülmediğinden, ölçülmeyen bu boy değerleri için bir çap-boy modelinin kullanımı ile gösterilebilir. Bu simülütörün içinde ağaçların hacim tahminleri için çift girişli ağaç hacim denklemi mevcut olup, bu çift girişli denklemin uygulanmasında gerekli olan ve tüm ağaçlarda ölçülemeyen ağaç boyu, bu söz edilen çap-boy denklemleri kullanılarak tahmin edilmekte ve böylece çift girişli ağaç hacim denklemi ile ağaçların hacim değerleri tahmin edilebilmektedir. Bu örnekte de gördüğümüz şekilde, meşcere çap-boy modelleri, çift girişli ağaç hacim denklemlerinin ormancılıkta kullanımını sağlayan araçlardan birisi olarak hizmet edebilmektedir. Benzer şekilde, tek ağaçlara ilişkin çift girişli biyokütle ve karbon denklemlerinin boyları ölçülmeyen ağaçlara uygulamasında, ilgili yöre için geliştirilmiş meşcere çap-boy modellerinin kullanımı öne çıkmaktadır. Diğer taraftan, meşcere çap-boy modelleri, orman envanteri

uygulamalarında ayrıca meşcere göğüs yüzeyi orta ağacının boyunun ve Hummel'e göre hesaplanan meşcere üst boyun hesabında da kullanılmaktadır.

Dendrometri biliminin temel araştırma konularından biri olan meşcerelerdeki çap-boy ilişkilerinin gelişimi, genel itibariyle sigmoid veya "S" şeklinde bir eğilim sergilemektedir. Bu durum neticesinde, meşcere boy eğrilerinin istatistik modellemesi, doğrusal olmayan (nonlinear) denklemler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım, söz konusu ilişkinin kompleks yapısını daha doğru bir şekilde temsil etme imkanı sunmaktadır (Wykoff, Crookston, & Stage, 1982, Huang, Price, & Titus, 1992, Robinson & Wykoff 2004). İlk geliştirilen çap-boy modellerinde, bağımsız değişken olarak sadece göğüs çapı yer almış ve göğüs çapına göre tahminler veren denklemler geliştirilmiştir. Bu ilk çalışmalara, Huang et al. (1992), Curtis (1967), Wykoff et al. (1982), Larsen and Hann (1987), Wang and Hann (1988), Moore, Zhang, & Stuch (1996), Zhang (1997), Fang and Bailey (1998), Peng (1999) ve Fekedulegn, Siurtain, & Colbert (1999)'ın çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bu modeller, sadece göğüs çapını bağımsız değişken olarak içermeleri sebebiyle farklı meşcere koşullarındaki (farklı meşcere yaşı, verim gücü ve sıklıktaki meşcerelerdeki) boy farklılıklarını temsil edememekte, bu durumda da hem boy tahminlerindeki tutarlılık hem de modelleme başarısı olumsuz yönde etkilenmektedir (Castedo-Dorado, Barrio Anta, Parresol, & Álvarez-González, 2005). Özellikle, model yapısı içinde yer almayan meşcere özelliklerinin (meşcere göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, sıklığı, bonitet endeksi vs.) farklılığından kaynaklı olarak, benzer ve yakın çaplara sahip ağaçların boy değerleri arasında önemli farklılıklar görülebilmektedir (Temesgen & Gadow 2004, Castedo-Dorado et al., 2005, Trincado, VanderSchaaf, & Burkhart, 2007). Bu bakımdan, yalnızca göğüs çapını bağımsız değişken olarak ele alan tek parametrelili boy modelleri, çeşitli sıklık derecelerine, verim gücü seviyelerine ve yaş sınıflarına sahip meşcerelerin çap-boy ilişkilerini modellemede yetersiz kalabilmektedir. Bu basit modeller, meşcerelerin karmaşık yapısal özelliklerini ve bu özelliklerin çap-boy ilişkisi üzerindeki etkilerini tam anlamıyla yansıtmakta sınırlı sonuçlar ortaya koyarlar. Dolayısıyla, daha kapsamlı ve çok değişkenli modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Sharma & Zhang, 2004). Bu konuda alternatif bir yaklaşım olarak, ağaçların göğüs çapı özelliğine ek olarak örnek alanlarının ortalama yaşı, bonitet endeksi, sıklığı, orta çapı, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi gibi özelliklerinin de model içinde bağımsız değişken olarak yer alması ve göğüs çapı ile birlikte çeşitli meşcere özelliklerini içeren genelleştirilmiş boy

modellerinin (*generalized height-diameter models*) geliştirilmesi yoluna gidilmiştir (Lappi, 1997). Fulton (1999), Huang, Price, and Titus (2000), Schöeder and Álvarez González (2001), Peng, Zhang, & Liu (2001), Zhang, Peng, Huang, & Zhou (2002), Soares and Tomé (2002), López Sánchez et al. (2003), Eerikäinen (2003), Sharma and Zhang (2004), Temesgen and Gadow (2004), Castedo Dorado et al. (2005), Trincado et al. (2007), Adame, del Río, & Cañellas (2008), Sönmez (2009) ve Paulo, Tomé, and Tomé (2011) yapmış oldukları çalışmalarda, genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirmişler, bu modellerde farklı meşcere özelliklerini bağımsız değişken olarak kullanmışlardır.

Genelleştirilmiş boy modelleri ile model yapıları içinde ek değişkenlerin yer alması; ilgili modelin tahmin başarısını belirli bir ölçüde artırsa da modellerin geliştirilmesi sırasında farklı büyüme şartlarına sahip meşcerelerden (farklı meşcere yaşına, verim gücüne ve sıklığa sahip) ölçülen verilerin bir veri ortamında birleştirilmesi ile oluşan hiyerarşik veri yapılarının ve verilerin birbirine bağımlılığının sorununu dikkate alamazlar (Castedo-Dorado, Diéguez-Aranda, Barrio, Sánchez, & von Gadow, 2006, Trincado et al., 2007, Crecente-Campo, Tomé, Soares, & Diéguez-Aranda, 2010). Söz konusu bu sorun, istatistiksel literatürde "otokorelasyon" veya "seri korelasyon" olarak adlandırılmaktadır (Mehtätalo, 2004; Castedo-Dorado ve ark., 2006; Crecente-Campo ve ark., 2010). Bu istatistiksel problem, boy denklemlerin parametrelerin güven aralıklarının sistematik bir hataya sahip olacak şekilde tahmin edilmesine sebebiyet vermektedir. Bu durum, modellerin güvenilirliğini ve tahmin gücünü olumsuz yönde etkileyebilmekte, dolayısıyla elde edilen sonuçların geçerliliğini sorgulanır hale getirebilmektedir (İyit, Genç, ve Arslan, 2006). Farklı örnekleme ünitelerinden gelen ve farklı meşcere yapılarını temsil eden örnekler, örnekleme üniteleri (ormancılıkta örnek alanlarda) için benzer yapı (intra); ancak örnekleme üniteleri içinde ise farklı (inter) bir yapı göstermekte, bu şekildeki veri yapısı ise farklı örnekleme üniteleri için hiyerarşik kümelenmiş bir özellik taşıyarak aynı grup içindeki veriler birbiri ile bağımlı bir özellikte olabilmektedir (Castedo-Dorado et al., 2006). İstatistik biliminin temel prensiplerinden biri olan regresyon modellerinde, farklı örnekleme ünitelerinden elde edilen verilerin ilişkisiz olması, özellikle verilere ilişkin varyansların örnekleme üniteleri arasında homojen bir değişime sahip olması ve buna bağlı olarak varyans-kovaryans matrisinin homojen olması gibi çeşitli varsayımlar esastır. Bununla birlikte, orman mühendisliği gibi biyolojik varlıklar üzerinde



ölçümler yapan disiplinlerde, bu varsayımların karşılanması çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Zira biyolojik sistemlerde ölçülen veriler, doğaları gereği kompleks etkileşimler ve bağımlılıklar sergilemektedir. Bu durum, biyolojik sistemlerde veri analizi ve modelleme çalışmalarında, klasik istatistiksel yaklaşımların ötesinde, söz konusu bağımlılıkları ve heterojeniteyi dikkate alan daha sofistike yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, karma etkili modeller, jeostatistiksel yöntemler veya zamansal-mekansal analiz teknikleri gibi alternatif yaklaşımlar, bu tür veri setlerinin analizinde daha uygun olabilmektedir. Aynı örneklem ünitesindeki ilişkili ve bağımlı veriler, regresyon modelleri ile elde edilen tahminlerin güvenilirliğinin negatif yönde etkilenmesine ve bu tahminlerin hatalı elde edilmesine neden olabilmektedir (Ye, 2005). Bu problem, istatistiksel literatürde "otokorelasyon" veya "içsel bağımlılık" olarak adlandırılmaktadır. Bu bakımdan, bu tür veri yapılarıyla çalışırken, söz konusu bağımlılık yapısını dikkate alan ve modelleyen istatistiksel yöntemlerin kullanılması önem arz etmektedir. Son dönem artım ve büyüme modelleme araştırmalarında, özellikle çap-boy ilişkilerinin modellenmesi alanında, Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (Nonlinear Mixed Effect Models) tekniklerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Karışık etkili çap modelleri örnekleri olarak da Mehtatalo (2004), Lynch, Holley, and Stevenson (2005), Calama and Montero (2004), Castedo-Dorado et al. (2006), Sharma and Parton (2007), Trincado et al. (2007), Saunders and Wagner (2008), Budhathoki, Lynch, and Guldin (2008), Adame et al. (2008) ve Crecente-Campo et al. (2010) yaptığı çalışmalar gösterilebilir. Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme yaklaşımında, "otokorelasyon" veya "seri korelasyon" probleminin modellerin tahminleri üzerine olan olumsuz etkisinin azaltılması esastır.

Bu çalışmada, ormancılıkta oldukça önem taşıyan boy modellerinin kullanım alanları, model yapıları ve bu modellerin geliştirilmesinde yaygın bir biçimde kullanılan Karışık Etkili Modelleme süreçlerinin açıklanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, doğrusal olmayan karışık etkili modellemeye ilişkin süreçler hakkında özet bilgiler verilecek ve model yapısının kullanım durumu da örneklerle ortaya konacaktır.

### **Doğrusal Olmayan Regresyon Modelleri**

Lei ve Paresol (2001) ile Peng ve arkadaşları (2001) tarafından ortaya konulduğu üzere, ağaçların boy değerleri ile göğüs çapları ve çeşitli meşcere

özellikleri arasındaki ilişkileri modellemek amacıyla kullanılacak fonksiyonların, belirli matematiksel ve biyolojik kriterleri karşılama gerekmektedir. Bu kriterler şu şekilde sıralanabilir:

(i) Optimal parametre sayısı: Model, ilişkileri yeterli düzeyde açıklayacak, ancak aşırı parametreleştirmeden kaçınacak şekilde tasarlanmalıdır.

(ii) Biyolojik açıklanabilirlik: Modelin yapısı ve parametreleri, ağaç büyümesinin biyolojik prensipleriyle uyumlu ve yorumlanabilir olmalıdır.

(iii) Monotonik artış: Model, çap artışıyla birlikte boy değerlerinin de sürekli olarak artmasını sağlamalıdır.

(iv) Büküm noktası: Fonksiyon, ağaç büyümesinin farklı evrelerini temsil eden bir infleksiyon noktasına sahip olmalıdır.

(v) Yatay asimptot: Model, biyolojik olarak makul bir maksimum boy değerine yakınsayan bir üst limit içermelidir.

Bu kriterler, modelin hem istatistiksel açıdan sağlam hem de ekolojik açıdan anlamlı olmasını sağlamakta, böylece ormancılık uygulamalarında daha güvenilir ve kullanışlı tahminler elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Ağaçların boy büyümesinin modellenmesine ilişkin ormancılık literatüründe, farklı model yapılarında çok sayıda doğrusal olmayan model yapısı önerilmiş ve kullanılmıştır. Bağımsız değişken olarak sadece göğüs çapını içeren basit boy denklemleri Tablo 1’de ve göğüs çapı ile birlikte çeşitli meşcere özelliklerini de içeren genelleştirilmiş boy model yapılarından bazıları ise Tablo 2’de verilmiştir.

Bu modellerin geliştirilmesinde, çalışma alanı olarak belirlenen orman işletme şefliği, orman işletme müdürlüğü ya da belirli bir coğrafik özelliğe sahip bölgelerde yayılış gösteren ormanlık alanlardan çeşitli meşcere koşullarını temsil eden, farklı meşcere yaşlarında, verim gücü sınıflarında ve sıklıklardaki örnek alanlarda yapılacak olan ölçümler kullanılmaktadır. Bu örnek alanlarda, ilk önce belirli bir çapı geçen (örneğin orman amenajmanında 8 cm’i geçen) tüm ağaçların göğüs çapları ölçülmekte, boy ölçümü yapılacak ağaç sayısının (alt örnekler, sub-samples, olarak da

adlandırılabilir) belirlenmesinde ise, farklı ölçüm sayıları esas alınabilmektedir. Boy ölçümüne ilişkin farklı ölçüm seçeneklerinde, farklı çap sınıflarında olmak üzere 20-25 adet ya da daha az sayıda ölçüm yapmak üzere orta çapa yakın 4-5 adet ağaçta boy ölçümleri yapılabilmektedir. Bu ölçümler yanında, meşcerelerin verim gücü (bonitet endeksi) ve ortalama yaşı ile diğer bazı meşcere özelliklerini (meşcere göğüs yüzeyi, orta çap, meşcere sıklığı vb.) hesaplamak için gerekli ölçümler de yapılabilmektedir. Bu meşcere özelliklerinin hesaplanmasına ilişkin çeşitli ölçümler, özellikle genelleştirilmiş boy modellerinin geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Diğer taraftan, sadece göğüs çapını içeren basit boy modellerinin geliştirilmesinde ağaçların göğüs çapları ile boy ölçümleri yeterli olabilmektedir.

Meşcere boy modellerini geliştirmek üzere ölçümlerin yapılıp, gerekli meşcere özellikleri hesaplandıktan sonra, bu veriler belirli bir veri havuzunda bir araya getirilmektedir. Devam eden süreçte, modellerin geliştirilmesi ve parametrelerin tahmini ile bazı modellere ilişkin istatistiklerin hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Ağaçların boy gelişimlerinin sigmoid veya S biçimli bir trend göstermesi ile boy modellerinin yapısının genellikle doğrusal olmayan bir model yapısında olmasını gerektirmektedir. Bu bakımdan, boy modellerinin geliştirilmesinde kullanılacak en önemli tahmin yöntemi de doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi olmaktadır.

**Tablo 1.** Göğüs çapını bağımsız değişken olarak içeren basit boy modelleri

Model Formu	Kaynak	Model Formu	Kaynak
$h = 1.3 + \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \frac{1}{1 - e^{(-\beta_3 D)^{1/\beta_4}}}$	Bertalanffy	$h = 1.30 + \beta_1 * (1 - e^{(-\beta_2 * D)})$	Meyer
$h = 1.3 + \beta_1 \cdot (1 - \exp(-\beta_2 \cdot D))^{\beta_3}$	Bertalanffy-Richards	$h = 1.3 + 10^{\beta_1} \cdot D^{\beta_2}$	Larson
$h = 1.30 + \beta_1 * (1 - e^{(-\beta_2 * D)})^{\beta_3}$	Chapman-Richards	$h = 1.30 + \frac{\beta_1 * D}{(\beta_2 + D)}$	Michaelis-Menten
$h = 1.30 + \frac{\beta_1 \cdot D}{(1 + D)^{\beta_2}}$	Curtis	$h = 1.30 + \frac{\beta_1}{1 + \beta_2^{-1} * D^{-\beta_3}}$	Mod-Logistic

$h = 1.30 + \beta_1 * \exp\left(\frac{\beta_2}{D + \beta_3}\right)$	Exponential	$h = 1.30 + \frac{D^2}{(\beta_1 + \beta_2 * D)^2}$	Näslund
$h = 1.3 + \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot \exp(-\beta_3 \cdot D))$	Gompertz	$h = 1.30 + \frac{D^2}{\beta_1 + \beta_2 * D + \beta_3 * D^2}$	Prodan
$h = 1.30 + \frac{\beta_1}{1 + \frac{1}{\beta_2 * D^{\beta_3}}}$	Hossfeld IV	$h = 1.30 + \beta_1 * D^{\beta_2}$	Power
$h = 1.30 + \beta_1 * e^{(-\beta_2 * D^{-\beta_3})}$	Korf	$h = 1.30 + \beta_1 * e^{(-\beta_2 / (D + \beta_3))}$	Ratkowsky
$h = 1.30 + \frac{\beta_1}{1 + \beta_2 * e^{(-\beta_3 * D)}}$	Logistic	$h = 1.30 + \beta_1 * (1 - \beta_2 * e^{(-\beta_3 * D)})^{\beta_4}$	Richards
$h = 1.30 + \beta_1 * e^{(-\beta_2 * D^{-1})}$	Schumacher	$h = 1.30 + \beta_1 * D^{\beta_2 * D^{-\beta_3}}$	Sibbesen
$h = 1.30 + \beta_1 * \left(1 - e^{(-\beta_2 * (D - \beta_3)^{\beta_4})}\right)$	Seber-Wild	$h = 1.30 + \beta_1 * \left(1 - e^{(-\beta_2 * D)^{\beta_3}}\right)$	Weibull
$h = 1.30 + e^{(\beta_1 - \beta_2 * (D + 1)^{-1})}$	Wykoff	$h = 1.30 + \beta_1 * e^{(-\beta_2 * e^{(-\beta_3 * D)})^{\beta_1}}$	Zeide

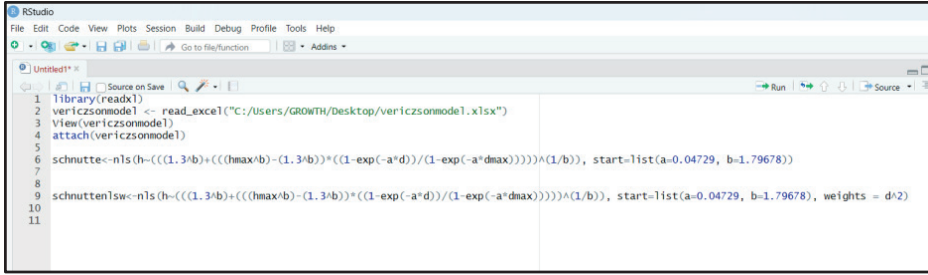
h: ağaç boyu (m), D: göğüs çapı (cm),  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  ve  $\beta_4$ : model katsayılarıdır.

**Tablo 2.** Meşcereler özelliklerini bağımsız değişken olarak içeren Genelleştirilmiş boy modelleri

Model Formu	Kaynak
$h = 1.3 + (H_0 - 1.3) \cdot \frac{(1 - e^{-b_0 \cdot d})}{(1 - e^{-b_0 \cdot D_0})}$	Meyer (1940)
$h = 1.3 + \left( b_0 \cdot \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{D_0} \right) + \left( \frac{1}{H_0 \cdot 1.3} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{-2}$	Loetsch, Zöher, and Haller (1973)
$h = 1.3 + (H_0 - 1.3) \cdot \left( 1 + b_0 \cdot (H_0 - 1.3) \cdot \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{D_0} \right) \right)^{-1}$	Prodan (1965)
$h = 1.3 + b_0 \cdot H_0^{b_1} \cdot d^{b_2 \cdot H_0^{b_3}}$	Hui and von Gadow (1993)
$h = H_0 \cdot \left( 1 + (b_0 + b_1 \cdot H_0 + b_2 \cdot D_g) \cdot e^{b_3 \cdot H_0} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{b_4 \cdot d}{H_0}} \right)$	Soares and Tomé (2002)
$h = 1.3 + \left( (b_0 + b_1 \cdot G + b_2 \cdot H_0) \cdot e^{\frac{b_3}{d}} \right)$	Huang et al. (2000) modified by Adame et al. (2008)
$h = 1.3 + (b_0 \cdot H_0^{b_1}) \cdot \left( 1 - e^{-b_2 \cdot \left( \frac{N}{G} \right)^{b_3} \cdot d} \right)^{b_4}$	Richards (1959) modified by Sharma and Parton (2007)
$h = 1.3 + b_0 \cdot (H_0 - 1.37)^{b_1} \cdot e^{(-b_2 \cdot d^{-b_3} + b_4 \cdot G)}$	Lynch, Hitch, Huebschmann, and Murphy (1999) modified by Budhathoki et al. (2008)
$h = \left( 1.3^{b_0} + (H_0^{b_0} - 1.3^{b_0}) \frac{(1 - e^{-b_1 \cdot d})}{(1 - e^{-b_1 \cdot D_0})} \right)^{\frac{1}{b_0}}$	Schnute (1981) modified by Castedo-Dorado et al. (2006)
$h = 1.3 + (H_{dom} - 1.3) \left( \frac{D}{D_{dom}} \right)^{\beta_1}$	Cañadas, Garcia, and Montero (1999)
$h = e^{(\beta_1 + \beta_2 \cdot \ln D_q + \beta_3 \cdot \ln N + \beta_4 \cdot \sqrt{D})}$	Cox (1994)
$h = H_{dom} \cdot (1 + \beta_1 \cdot e^{\beta_2 \cdot H_{dom}}) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\beta_3 \cdot D}{H_{dom}}} \right)$	Harrison, Burk, and Beck (1986)
$h = 1.3 + \left[ \beta_1 \cdot \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{D_{dom}} \right) + \left( \frac{1}{H_{dom} - 1.3} \right)^{1/3} \right]^{-3}$	Monnes (1982)

$h = \beta_1 \cdot H_{dom} \cdot \left( 1 - \exp\left(\frac{-\beta_2 \cdot D}{D_{dom}}\right) \right)^{\beta_3}$	Pienaar, Harrison, and Rheney (1991)
$h = 1.3 \cdot (\beta_1 + \beta_2 \cdot H_{dom} - \beta_3 \cdot D_q + \beta_4 \cdot G) \cdot \exp(-\beta_5 / \sqrt{D})$	Schröder and Alvarez- Gonzalez (2001)
$h = 1.3 + \beta_1 \cdot G^{\beta_2} \cdot (1 - \exp(-\beta_3 \cdot D))$	Sharma and Zhang (2004)
$h = 1.3 \cdot (H_{dom} - 1.3) \cdot \exp\left(\beta_1 \cdot \left(1 - \frac{D}{D_{dom}}\right)\right) \cdot \exp\left(\beta_2 \cdot \left(\frac{D}{D_{dom}} - \frac{1}{D}\right)\right)$	Sloboda, Gaffrey, and Matsumura (1993-I)
$h = 1.3 \cdot (H_m - 1.3) \cdot e^{\left(\beta_1 \cdot \left(1 - \frac{D}{D_q}\right)\right)} \cdot e^{\left(\beta_2 \cdot \left(\frac{D}{D_q} - \frac{1}{D}\right)\right)}$	Sloboda, Gaffrey, and Matsumura (1993-II)
$h = 1.3 + (h_{dom} - 1.3) \frac{(1 - \exp(-\beta_1 D))}{(1 - \exp(-\beta_1 D_{dom}))}$	Meyer (1940)

Doğrusal olmayan regresyon analizi yönteminin uygulanmasında ve modellerin parametre değerleri ile diğer çeşitli istatistiklerinin hesaplanmasında, SPSS, SAS ve R gibi istatistik yazılımları kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi, parametre tahmininde ve verileri dengelemede en küçük kareler (Ordinary Least Squares, OLS) yöntemine dayalı bir şekilde parametre tahmini yapan doğrusal regresyon analizinden farklı olarak, sayısal çözümleme temelli iterasyonlar ile aşama aşama belirli hata ( $\epsilon$ , epsilon) ile çözüme yaklaşır. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi, sonuca ulaşma ve parametre tahmininde ise genellikle Gauss-Newton veya Levenberg-Marquardt algoritmalarını esas alır. Günümüzde en yaygın kullanıma sahip R yazılım dili ile gerçekleştirilebilecek doğrusal olmayan regresyon analizine ilişkin kod örneği, Schnute (1981)'un boy denklemi için Şekil 1'de gösterilmiştir.



```

1 library(readxl)
2 vericzsmodel1 <- read_excel("C:/Users/GROWTH/Desktop/vericzsmodel1.xlsx")
3 View(vericzsmodel1)
4 attach(vericzsmodel1)
5
6 schmutte<-nls(h~((1.3^b)+(((hmax^b)-(1.3^b))^((1-exp(-a^d))/(1-exp(-a^dmax))))^(1/b)), start=list(a=0.04729, b=1.79678))
7
8
9 schmuttenlsw<-nls(h~((1.3^b)+(((hmax^b)-(1.3^b))^((1-exp(-a^d))/(1-exp(-a^dmax))))^(1/b)), start=list(a=0.04729, b=1.79678), weights = d^2)
10
11

```

**Şekil 1.** R yazılım dilinde doğrusal olmayan regresyon analizi kod örneği

### Karışık Etkili Modelleme (Nonlinear Mixed Effect Models)

Genelleştirilmiş boy denklemlerinin geliştirilmesinde önemli olan bir konu da bu modellere veri altlığı oluşturan örnek alanların yapı olarak hiyerarşik bir özellik göstermeleri (Castedo-Dorado et al., 2006; Crecente-Campo et al., 2010) ile oluşan otokorelasyon sorununun dikkate alınması ve bu problemin model sonuçlarında meydana getireceği olumsuz etkinin azaltılmasıdır. Bu konuda, birçok araştırma, doğrusal olmayan regresyon modellerinden farklı olan Karışık etkili modellerin kullanılmasını önermektedir. Bu modeller, sabit etkili parametreler ve rastgele etkili parametreler olarak iki ana gruba ayırmaktadır (Mehtatalo, 2004; Lynch et al., 2005; Calama & Montero, 2004; Castedo Dorado et al., 2006; Sharma & Parton, 2007; Trincado et al., 2007; Saunders & Wagner, 2008; Budhathoki et al., 2008; Adame et al., 2008; Crecente-Campo et al., 2010). Bu bakımdan, karışık Etkili Modelleme modelleme, modeldeki parametreleri iki ana grupta ele alır: sabit (fixed effect) parametreler ve rastgele (random effect) parametreler. Bu sınıflandırma, modelin temel yapısını oluşturan denklem içindeki değişkenlerin etki türlerine göre düzenlenmesini sağlar. Sabit etkili parametre, denklemin geliştirilmesinde kullanılan tüm örnek üniteleri (örnek alanlar, meşcereler ya da coğrafik bölgeler) için genel ilişkileri ifade eden ve örnek üniteleri arasında önemli miktarda değişkenlik göstermediği kabul edilen parametredir. Rastgele etkili parametre, her örnekte farklı değerler alabilen ve örnekleme birimleri arasındaki değişkenliği yansıtan bir parametredir. Bu parametre, her örneğin kendine özgü özelliklerini ve farklılıklarını temsil eder. Karışık Etkili Modelleme adı da buradan gelir - çünkü model hem sabit hem de rastgele etkileri bir arada içeren bir yapıya sahiptir (Calama & Montero, 2004; Castedo Dorado et al., 2006; Crecente-

Campo et al., 2010). Bu açıdan, bu modelleme yaklaşımı, hem genel eğilimleri gösteren sabit etkileri hem de örnekler arasındaki doğal değişkenliği yansıtan rastgele etkileri tek bir denklem yapısında birleştirir. Karışık etkili modelleme ile örnekleme üniteleri için (Orman İşletme Şeflikleri, Orman İşletme Müdürlükleri ya da Orman Bölge Müdürlükleri gibi) rasgele etkili parametreler tahmin edilir ve söz konusu örnekleme üniteleri için bu rasgele parametreler farklı değerler alır. Bu rasgele parametrelerin farklı örnekleme üniteleri için tahmin edilmesi ile bu örnekleme ünitelerinin ilgili özellikteki değişkenliğinin daha iyi modellenmesine ve böylece modellerin tahmin kabiliyetinin gelişmesine neden olur (Crecente-Campo et al., 2010).

Karışık etkili modellemede, bu otokorelasyon probleminin kaynağı olabilecek örnekleme üniteleri için farklı olmak üzere (parametre tahminlerinde farklı orman ekosistemlerini ve örnekleme ünitelerini oluşturan Orman Bölge Müdürlükleri, Orman İşletme Müdürlükleri, Orman İşletme Şeflikleri veya örnek alanlar için “Subject” olarak seçilerek) Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon modelleme ile çeşitli tekli, ikili, üçlü ve dörtlü rasgele ve sabit etkili parametre seçeneklerini içerecek şekilde tahminler elde edilebilmektedir. Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon modelleme süreci R yazılım dili ile kodlanmış “nlme” paketi kullanılarak uygulanabilmektedir (R Core Team, 2022). Burada, en başarılı olarak belirlenmiş olan genelleştirilmiş boy denkleminde Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon modelleme sürecinin uygulanmasında farklı sabit ve rasgele parametre seçenekleri içeren modeller tahmin edilmekte ve boy değerlerini tahmin etmedeki başarı durumları karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, farklı örnekleme üniteleri için rasgele parametre değerlerinin elde edilmesinde, “nlme” paketindeki “model\$coefficients” fonksiyonu kullanılabilir ve teorik olarak otokorelasyon probleminin kaynağı olan bu hiyerarşik veri yapısındaki gruplar arasındaki değişkenliği de hesaba katarak bölgelere göre farklılık gösterecek özellikte genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, karışık etkili modelleme ile elde edilebilecek genelleştirilmiş boy modeline bir örnek olarak, Ercanlı, Kahrıman ve Yavuz (2012) çalışmasında parametreleri tahmin edilmiş Schnute (1981)'un modeli verilmiştir. Schnute (1981) denkleminin karışık etkili model yapısı;



$$h = \left( 1.3^{b_1+v} + (H_0^{b_1+v} - 1.3^{b_1+v}) \frac{1-e^{-(b_2+u)d}}{1-e^{-(b_2+u)D_0}} \right)^{1/b_1+v} + \varepsilon \quad (1)$$

biçiminde olup,  $b_1$  ve  $b_2$  modelin sabit etkili parametreleri olup,  $u$  ve  $v$  parametreleri ise rasgele etkili parametreleri göstermektedir. Karışık etkili modeller (Linear and Nonlinear Mixed Effects Models), En Küçük Kareler Yöntemi (Ordinary Least Squares, OLS) ile parametre tahmini yapılan doğrusal regresyon modelleri ve çeşitli sayısal çözümleme yöntemleri ile parametre tahmini yapılan doğrusal olmayan regresyon modellerinden farklı olarak, sabit etkili ve rasgele etkili parametreler olmak üzere, iki farklı parametreyi içermektedir. Karışık etkili model yapısına bir örnek olabilecek bir çalışmadan (Ercanlı ve ark., 2012), sabit etkili parametreleri ( $b_1$ ,  $b_2$ ), rasgele parametrelere ilişkin varyans değerleri ( $\sigma_u^2$ ,  $\sigma_v^2$ ) ve kovaryans değerleri Tablo 3’de verilmiştir (Ercanlı ve ark., 2012). Farklı örnekleme üniteleri için rasgele parametrelerin hesaplamasında, daha öncede ifade edildiği üzere R dilinde kodlanmış olan “nlme” paketinin “model\$coefficients” fonksiyonu kullanılabilir.

**Tablo 3.** Schnute (1981) denkleminin karışık etkili model sonuçlar (Ercanlı ve ark., 2012)

Parametreler		Parametre Tahmini	Standart Hata	t	p
Sabit Etkili Parametreler	$b_1$	0.06108	0.004389	13.92	<0.0001
	$b_2$	0.4819	0.06234	7.73	<0.0001
Rasgele Etkili Parametre Varyansları	$\sigma_u^2$	0.001817	0.000045	40.37	<0.0001
	$\sigma_v^2$	0.3507	0.0180	19.48	<0.0001
Kovaryans	$\sigma_{uv}^2$	-0.02385	0.000654	-36.46	<0.0001
Model Hatası	$\sigma^2$	4.0449	0.09872	40.98	<0.0001

Ercanlı ve ark., (2012) yaptığı çalışmada, Schnute (1981) denklemini farklı örnek alanlara kalibre etmiş ve örnek alanlara özgü olacak şekilde boy modelleri geliştirmiştir. Bu çalışmada (Ercanlı ve ark., 2012), karışık etkili modellemenin uygulanmasını gerçekleştirmek üzere farklı örnek alanlar (10 ve 45 numara) için rasgele etkili parametreler elde edilmiş ve örnek alanlara özgü genelleştirilmiş boy denklemi geliştirilmiştir. Söz konusu bu örnek alanlar için, “model\$coefficients” fonksiyonu ile elde edilen rasgele etkili parametreler ( $u$  ve  $v$  parametreleri), 10 numaralı örnek alan için;  $-0.03375$  ve  $0.4962119$  olup, 45 numaralı örnek alan için ise;  $-2.539472$  ve  $-0.032257$ ’dir. Aşağıda tüm toplum için genel çap-boy trendini ifade eden Schnute (1981) denklemi verilmiştir (Ercanlı ve ark., 2012).

$$h = \left( 1.3^{0.06108+v} + (H_0^{0.06108+v} - 1.3^{0.06108+v}) \frac{1 - e^{-(0.4819+u)d}}{1 - e^{-(0.4819+u)D_0}} \right)^{1/0.06108+v} \quad (2)$$

Bu denklemde, daha öncede de ifade edildiği üzere;  $D_0$  ve  $H_0$  değişkenleri; örnek alanda hektarda 100 ağaç yöntemine göre belirlenmiş en kalın çaplı ağaçların ortalama çapını ve boyunu,  $b_1$  ve  $b_2$  modelin sabit etkili parametreleri,  $u$  ve  $v$  parametreleri ise rasgele etkili parametreleri ifade etmektedir. Söz konusu bu denklemde, 10 numaralı ve 45 numaralı örnek alanlar için hesaplanmış olan  $u$  ve  $v$  rasgele etkili parametreler yerine konulursa; 10 numaralı örnek alan için  $0.4819+u = 0.4819-0.03375 = 0.4482$  ve  $0.06108+v = 0.06108+0.4962119 = 0.5573$  olarak ve 45 numaralı örnek alan için  $0.4819+u = 0.4819-2.539472 = 2.0576$  ve  $0.06108+v = 0.06108-0.032257 = 0.02882$  olarak yeni parametreler elde edilir. Böylece, 10 ve 45 numaralı örnek alanlardaki çap-boy değişimini ifade eden karışık etkili çap-boy modeli aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

10 numaralı örnek alan için çap-boy denklemi;

$$h = \left( 1.3^{0.5573} + (H_0^{0.5573} - 1.3^{0.5573}) \frac{1 - e^{-(0.4482)d}}{1 - e^{-(0.4482)D_0}} \right)^{1/0.5573} \quad (3)$$

45 numaralı örnek alan için çap-boy denklemi;

$$h = \left( 1.3^{0.0288} + (H_0^{0.0288} - 1.3^{0.0288}) \frac{1 - e^{-(2.0576)d}}{1 - e^{-(2.0576)D_0}} \right)^{1/0.0288} \quad (4)$$

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, başta orman envanteri olmak üzere çeşitli ormancılık çalışmalarında büyük önem taşıyan çap-boy modellerinin kullanım alanları, model geliştirme süreçleri, kullanılan model yapıları ve günümüz ormancılık literatüründe kullanımı öne çıkan karışık etkili modelleme süreçleri açıklanmaya çalışılmıştır. Ülkemiz ormancılığında, büyüme simülatörlerinin kullanımının daha da önem kazanması ve ayrıca orman amenajman planlarında yer alan tek girişli ağaç hacim denklemlerinden öte çift girişli ağaç hacim denklemlerinin ağaç hacim tahminlerinde daha başarılı sonuçlar verme potansiyelleri dikkate alındığında, bu simülatörlerin ve denklemlerin kullanımını kolaylaştıracak çap-boy modellerinin daha yoğun bir biçimde ormancılık envanteri çalışmalarında geliştirilmesi gerekliliği belirginleşmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin tamamında ve Kanada'da belli bölgelerinde yoğun kullanımı olan Orman Vejetasyon Simülatörü (Forest Vegetation Simulator, FVS) sistemi içinde yer alan çap-boy modellerinin kullanımı, bu duruma en iyi örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bakımdan, ülkemiz ormancılığında gelecek dönemlerde envanter çalışmalarının ayrılmaz bir parçası olarak çap-boy modellerinin kullanımı söz konusu olabilecektir.

Orman envanteri kapsamında gerçekleştirilen örnekleme çalışmalarında; meşcere karakteristikleri, bonitet sınıfları ve yaş sınıflarına ilişkin ölçümlerin gerçekleştirilmesi ve bilhassa söz konusu verilerin dijital ortamda bir araya getirilerek model geliştirme süreçlerinde kullanılması, veriler arasında istatistiksel terminolojide "seri korelasyon" veya "otokorelasyon" olarak kavramsallaştırılan problemi de beraberinde getirmektedir. Bu problem, regresyon analizlerinin dayandığı istatistiksel varsayımları ihlal ederek, parametre tahminlerinde yanlışlığa ve dolayısıyla güvenilirlik düzeyinde önemli sapmalara sebebiyet verebilmektedir. Orman ekosistemlerinin doğal yapısal karakteristiği olarak, veri toplama süreçlerinde iki temel kaynaktan bu seri korelasyon sorunu oluşur bunlar; örnek alanlarda aynı örnekleme birimi içerisindeki ölçümlerin gösterdiği seri korelasyon ve ikincisi ise, devamlı örnek alanlarda farklı zaman periyotlarında elde edilen

verilerin sergilediği seri korelasyon problemidir. Söz konusu metodolojik zorluk, bilhassa ormancılık bilimi başta olmak üzere, biyolojik sistemleri araştırma konusu edinen bilimsel disiplinlerde, regresyon modellerinin geliştirilmesi sürecinde özel bir önem arz etmektedir. Verilerin hem konumsal hem de zamansal (temporal) ölçeklerde hiyerarşik kümelenme eğilimi göstermesi, konvansiyonel modelleme yaklaşımlarının ötesinde, alternatif ve daha kompleks modelleme tekniklerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu bakımdan, *Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleri (Nonlinear Mixed Effect Models)*, alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmiş, ormancılık uygulamalarında artım ve büyüme modellerinin geliştirilmesinde yoğun bir şekilde tercih edilmiştir. Ormancılık literatüründe, çeşitli araştırmacılar tarafından (Castedo-Dorado et al., 2006; Huang, Meng, & Yang, 2009; Meng, Huang Liefers, Nunifu, & Yang, 2008) boy modellerinin geliştirilmesinde, Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Model yapıları kullanılmıştır. Karışık Etkili Modelleme ile parametreleri tahmin edilen ve böylece veriler arasındaki bağımlılığın boy tahminlerindeki olumsuz etkisinin azaltıldığı boy modelinin sabit etkili parametreleri ( $b_1, b_2$ ), rasgele parametrelere ilişkin varyans değerleri ( $\sigma_u^2, \sigma_v^2$ ) ve kovaryans değerleri, bu modelleme süreci ile elde edilebilmektedir.

Karışık Etkili Regresyon Modellerinin kullanımı ile ülkemiz orman envanter çalışmalarında özellikle ilk önce asli ağaç türlerimiz için olmak üzere çap-boy ilişkilerini tahmin eden modellerin daha etkin ve başarılı elde edilmesi söz konusu olabilecektir. Orman envanter uygulamalarında, boyu ölçülmeyen ağaçların boy değerlerinin; boy modelleri ile tahmin edilmesi ile birlikte ağaç hacim tahminlerinde çift girişli ağaç hacim denklemlerinin ve tablolarının kullanımı, ormancılık açısından oldukça önem taşıyan tek ağaç ve meşcere düzeyindeki hacim tahminindeki başarıyı ve tutarlılığı arttırabilecektir. Ülkemiz ormancılığı açısından, diğer ormancılığı gelişmiş ülkelerdeki envanter çalışmalarında standart bir rutin uygulama olan çap-boy modellerinin genelleştirilmiş model yapıları ile karışık etkili modelleme süreçleri esas alınarak geliştirilmesi bir öncelikten öte önemli bir gereklilik arz etmektedir.

## Kaynakça

- Adame, P., del Río, M. & Cañellas, I. (2008). A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *For. Eco. and Man.*, 256, 88–98.
- Avery, T.E. & Burkhart, H.E. (1983). *Forest Measurements (331 p.)*. McGraw-Hill Series in Forest Resources, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Budhathoki, C. B., Lynch, T. B. & Guldin, J. M. (2008). A mixed-effects model for dbh–height relationship of shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.). *South. J. Appl. For.* 32, 5–11.
- Calama, R. & Montero, G. (2004). Interregional nonlinear height– diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Can. J. For. Res.*: 34,150–163.
- Cañadas, N., Garcia, C. & Montero, G. (1999). Relacion alturadiámetro para *Pinus pinea* L. En el Sistema Central. *Congreso de Ordenacion y Gestion Sostenible de Montes, Santiago de Compestela*, 4-9 octubre. Tomo I, pp. 139-153
- Castedo-Dorado, F., Barrio Anta, M., Parresol, B. R., & Álvarez-González, J. G. (2005). Stochastic height–diameter model for maritime pine ecoregions in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.*, 62, 455–465
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Sánchez, M. & von Gadow, K. (2006). A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northeastern Spain. *For. Ecol. Manage.* 229, 202 – 213.
- Cox, F. (1994). *Parameterized models of height*. Report of convention enterprises research.
- Crecente-Campo, F., Tomé, M., Soares, P. & Diéguez-Aranda, U. (2010). A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in northwestern Spain. *For. Eco. and Man.*, 259, 943-952.
- Curtis, R.O. (1967). Height–diameter and height–diameter-age equations for second growth Douglas-Fir. *For. Sci.* 13, 365–375.
- Doğanay, B. (2007). Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri (94s), yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Eerikäinen, K. (2003). Predicting the height–diameter pattern of planted *Pinus kesiya* stands in Zambia and Zimbabwe. *For. Ecol. Manage.*, 175(1-3), 355–366.
- Ercanlı, İ., Kahrıman, A. ve Yavuz, H. (2012). Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü doğu ladini-sarıçam karışık meşcereleri için karışık etkili doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile doğu ladini çap-boy modellerinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 75-84.
- Fırat, F., 1973. *Dendrometri*. İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayınları, no:1800/1 93, 359 s.
- Fang, Z. & Bailey, R. L. (1998). Height– diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *For. Ecol. Manage.* 110(1-3), 315-327.
- Fekedulegn, D., Siurtain, M. P. M. & Colbert, J. J. (1999). Parameter estimation of nonlinear growth models in forestry. *Silv. Fenn.* 33, 327–336.
- Fulton, M.R. (1999). Patterns in height–diameter relationship for selected tree species and sites in eastern Texas. *Can. J. For. Res.* 29(9), 1445–1448.
- Harrison, W. C., Burk, T. E. & Beck, D. E. (1986). Individual tree basal area increment and total height equations for Appalachian mixed hardwoods after thinning. *South. J. of Applied Forestry*, 10(2), 99-104.
- Huang, S., Titus, S. J. & Wiens D. P. (1992). Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. . *Can. J. For. Res.*, 22(9), 1297–1304.
- Huang, S., Price, D. & Titus, S. J. (2000). Development of ecoregion-based height–diameter models for white spruce in boreal forests. *For. Ecol. Manage.*, 129(1-3), 125–141.
- Huang, S., Meng, S. X. & Yang, Y., (2009). Using nonlinear mixed model technique to determine the optimal tree height prediction model for black spruce. *Modern Applied Science*, 3(4), 3-18.
- Hui, G. & Gadow, K.v. (1993). Zur Entwicklung von Einheitshöhenkurven am Beispiel der Baumart *Cunninghamia lanceolata*. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, 164(12), 218-220.
- İyit, N. (2008). İlişkili veri analizinde lineer karma modellerin yapılandırılması (162 s.), doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya.

- İyit, N., Genç, A. & Arslan, F. (2006). Analysis of repeated measures for continuous response data using General Linear Model and Mixed Models. *Proceedings of the international conference on modeling and simulation*, 937-942, Konya, TURKEY.
- Kalipsız, A. (1984). *Dendrometri*, İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Lappi, J. (1997). A longitudinal analysis of height–diameter curves. *For. Sci.* 43, 555–570.
- Larsen, D. R. & Hann, D. W. (1987). Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Technical Report, USA Wand and Hann 1988.
- Lei Y. & Parresol B. R (2001). Remarks on height-diameter modeling (Res Note SRS-10), *USDA For Service, Southern Research Station, Asheville, NC*.
- Loetsch F., Zöher F. & Haller K. (1973). *Forest Inventory*. 469 pp., BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
- Lynch, T. B., Hitch, K. L., Huebschmann, M. M. & Murphy, P. A. (1999). An individual-tree growth and yield prediction system for even-aged natural shortleaf pine forests. *Southern Journal of Applied Forestry*, 23(4), 203-211.
- Lynch, T. B., Holley A. G. & Stevenson, D. J. (2005). A random-parameter height-dbh model for cherrybark oak., *South J. Appl. For.:* 29(1), 22–26.
- Meyer, H. A. (1940). A mathematical expression for height curves. *Journal of Forestry*, 38(5), 415-420.
- Mehtätalo, L. (2004). A longitudinal height–diameter model for Norway spruce in Finland., *Can. J. For. Res.* 34(1), 131–140.
- Meng, S. X., Huang, S., Lieffers, V. J., Nunifu, T. & Yang, Y. (2008). Wind speed and crown class influence the height–diameter relationship of lodgepole pine: Nonlinear mixed effects modeling, *For. Eco. and Management*, 256(4), 570-577.
- Monnes, E.N. (1982). *Diameter distributions and height curves in even-aged stands of Pinus sylvestris L.* Norsk institutt for skogforskning.

- Moore, J. A., Zhang, L. & Stuch, D. (1996). Height-diameter equations for ten tree species in the Inland Northwest. *West. J. Appl. For.*, 11(4), 132-137.
- Paulo, J. A., Tomé, J. & Tomé, M. (2011). Nonlinear fixed and random generalized height–diameter models for Portuguese cork oak stands, *Annals of Forest Science*, 68, 295-309.
- Peng, C. (1999). Nonlinear height- diameter models for nine boreal forest tree species in Ontario. *Forest Research Report Ontario Forest Research Institute*.
- Peng, C., Zhang, L. & Liu, J. (2001). Developing and validating nonlinear height–diameter models for major tree species of Ontario’s boreal forests. *North. J. Appl. For.*, 18(3), 87–94.
- Pienaar, L. V., Harrison, W. M., & Rheney, J. W. (1991). PMRC yield prediction system for slash pine plantations in the Atlantic coast flatwoods. *PMRC Techn. Rep., Athens*.
- Prodan, M. (1965). *Holzmesselehre* (p. 644). Frankfurt am Main: JD Sauerländer.
- R Core Team (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna., Austria.: <https://www.R-project.org>
- Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of experimental Botany*, 10(2), 290-301.
- Robinson, A. P. & Wykoff, W. R. (2004). Imputing missing height measures using a mixed-effects modeling strategy. *Can. J. For. Res.*, 34(12), 2492–2500.
- Saunders, M. R. & Wagner, R. G. (2008). Long-term spatial and structural dynamics in Acadian mixedwood stands managed under various silvicultural systems. *Can. J. For. Res.*, 38(3), 498–517.
- Schnute, J. (1981). A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38 (9), 1128-1140.
- Schröder, J. & Alvarez-Gonzalez, J.G. (2001). Developing a generalized diameter-height model for maritime pine in Northwestern Spain. *Forstwiss. Centralbl.*, 120(1), 18-23.



- Sharma, M. & Zhang, S. Y. (2004). Height–diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scand. J. For. Res.* 19(5), 442–451.
- Sharma, M. & Parton, J. (2007). Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *For. Ecol. Manage.* 249(3), 187–198.
- Sloboda, V.B., Gaffrey, D. & Matsumura, N. (1993). Regionale und locale systeme von Höhenkurven für gleichaltrige Waldbestände. *Allg. Forst. Jagdztg.* 164(12), 225–228.
- Soares, P. & Tomé, M. (2002). Height–diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *For. Ecol. Manage.*, 166 (1-3), 99–109.
- Sönmez, T., 2009. Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* (L.). *Journal of Environmental Biology*, 30(5), 767-772.
- Temesgen, H. & Gadow, K. V. (2004). Generalized height–diameter models-an application for major tree species in complex stands of interior British Columbia. *Eur. J. Forest Res.* 123, 45–51.
- Trincado, G., VanderSchaaf, C. L. & Burkhart, H.E. (2007). Regional mixed-effects height-diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. *Eur. J. For. Res.* 126, 253-262.
- Ye, S. (2005). Covariance structure selection in linear mixed models for longitudinal data, M. Sc. Thesis, department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Kentucky, USA.
- van Laar, A. & Akça A. (2007). *Forest mensuration: in Managing Forest Ecosystems*, Dordrecht, The Netherlands: Springer. 383 s.
- Wykoff, W.R., Crookston, N.L. & Stage, A.R. (1982). User’s guide to the stand prognosis model. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep.* INT-133.
- Zhang, L. (1997). Cross-validation of non-linear growth functions for modelling tree height–diameter relationships. *Ann. Bot.*, 79(3), 251-257.
- Zhang, L., Peng, C., Huang, S. & Zhou, X. (2002). Development and evaluation of ecoregion-based jack pine height–diameter models for Ontario. *For. Chron.* 78(4), 530–538.



# BÖLÜM 4

## ÇİMENTO İKAME MALZEMELERİ VE ÇİMENTOLU YONGALEVHA ÜRETİMİNDE KULLANIM İMKANLARI

*Uğur ARAS<sup>1</sup>,*

*Hüsnü YEL<sup>2</sup>,*

*Hülya KALAYCIOĞLU<sup>3</sup>*

1 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Trabzon, Türkiye, uaras@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1572-0727

2Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye, yel33@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0661-9109

3Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, khulya@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1807-4353

## 1. GİRİŞ

Odun esaslı kompozitler; istenilen şekil, boyut ve kalınlıklarda üretilerek; mobilya ve bileşenlerinde (kaplamalar ve paneller), inşaat sektöründe cephe, kaplama, bölmeler, kapı göbekleri, paneller, akustik bölmeler gibi ürünlerin üretiminde kullanılan geniş yüzeyli levhalardır. Teknolojik gelişmeler, ham madde tedarikinin zorlanması ve pazarda yenilik arayışı odun esaslı kompozit ve üretim proseslerinin gelişimini desteklemiştir (Barbu vd., 2014). Ayrıca, Günümüzde deprem riskinin yüksek olduğu yerlerde CLT, Glulam, PSL gibi ahşap esaslı yapısal odun kompozitlerinin kullanımı daha önemli bir konu haline gelmiştir (Birinci vd., 2021).

Fakat, özellikle artan kereste ve tomruk fiyatları ve azalan idari ömür ve çaplar ile orman kaynaklarının daha verimli kullanılması ihtiyacı odun esaslı levha sektörünün gelişimini, üretim yöntemlerinin gelişmesi de büyümeyi hızlandırmıştır. Öte yandan üstün performanslı yapı malzemesi kullanma arzusu da odun kompozitlere olan talebi artmıştır. Ahşabın rutubete bağlı olarak çalışması ve boyut değişimi sorunu kompozit levhalarda kullanılan katkı maddeleri (parafin, vaks vb.) ile çözülebilmektedir. Masif ahşap hem farklı türler arasında hem de kendi bünyesi içerisindeki anizotropik yapısı dolayısıyla; yoğunluk ve fiziko-mekanik performans değişikliği gösterir. Kompozitlerin mukavemet özellikleri ise masif ahşap malzemeye göre daha düşük olsa bile daha homojen ve stabildir. Dengeli bir yük taşıma kapasitesine sahip olması da kompozitlerin masif ahşaba kıyasla düşük olan mukavemet farkını telafi edebilir (Rowell, 2012).

Odun esaslı kompozitlerin Odun esaslı kompozitlerden bir tanesi olan odun çimento kompozitleri (OÇK), kullanılan odun formuna göre çimentolu yongalevha, çimentolu liflevha ve odun yünlü çimentolu levha olarak isimlendirilmektedirler. Üretimde genel olarak odun yongaları, lifleri ve yünleri ile su ve kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Çimento ucuz bir bağlayıcı olmakla birlikte ulaşımı kolaydır. Portland çimentosunun odun yongaları ile güçlü bir kompozit yapısı oluşturduğu çeşitli çalışmalarda verilmiştir (Hossain vd., 2018; Cabral vd., 2018). Çimentolu yonga levhalar, boyutsal stabilitesinin yüksek ve su alma miktarının düşük olması, böcek, çürüme ve mantar saldırılarına karşı yüksek direnç göstermesi, yangın direnci, iyi akustik ve ısı yalıtım özelliklerine sahip olmaları sebebiyle iç ve dış ortam koşullarında yapılarında kullanılabilir (Tabarsa ve Ashori 2011). Genel olarak çimentolu OÇK'ler duvar yapı elemanı, ince duvar bölmeleri, çatı ve zemin kaplamaları ve yalıtım levhası ile duvar ve cephe kaplaması olarak kullanılmaktadır (Anju vd., 2016). Çimentolu odun kompozitleri üretim hattı ve bağlayıcı maliyeti açısından avantajlıdır. Ayrıca çimentonun kendiliğinden sertleşebilmesi de üretim presleme işlemlerini daha ekonomik kılmaktadır. Üretim aşamasında az miktarda ve basit makineler kullanılabilir ve üretimde ısısal proseslere ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca çimento tutkula göre çok daha ucuz bir bağ-

layıcıdır. Bu nedenle, OÇK'lerin üretim de her geçen gün artmaktadır (Fan vd., 2012).

Küresel karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının toplamı 2370 Tg CO<sub>2</sub> olup, bunu yaklaşık üçte biri sanayi sektörlerindeki enerji kullanımı ile oluşmaktadır. Çimento endüstrisi, sera gazı emisyonlarının, özellikle de CO<sub>2</sub> emisyonunun en önemli sebeplerinden birisidir. Bu, üretim için hammaddelerin kalsinasyonlarından kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda, küresel çevre planlamalarının en önemli hedeflerinden biri, Dünya'nın iklim düzenini korumak için emisyonların azaltılmasıdır. Atmosferik emisyonların artan eğilimi, iklim değişikliğinin karşı karşıya olduğu zorlukların üstesinden gelmek için politikalar tasarlamak ve geliştirmek için itici bir faktör olmaktadır (Ali vd., 2011; Mikulčić vd., 2016).

Yeni bir kaynak olarak atıkları üretime kazandıran yeniliklerin ortaya çıkarılması çok önemlidir. Atıkları depolama alanlarından yeniden kullanıma, geri dönüşüm ve geri kazanıma yönlendirmek, ekonomik olarak kalkınmaya önemli katkı sağlayacağı gibi ülke için yeni ticari olanaklar sunması açısından da önemlidir (Godfrey vd., 2016). Çevresel sürdürülebilirlik kavramı, tarımsal kalkınmanın ve doğal kaynakların aşırı tüketiminin neden olduğu etkileri azaltan projeler geliştirmenin bir yolunu aramaktadır. Sanayi ve tarım tarafından üretilen tüm atıklar, çevreye zararlı sonuçlardan kaçınarak doğru şekilde işlenmelidir. (Arruda Filho vd., 2012). Bu kaynakların kullanımı atıkların ortadan kaldırılması, kaynak verimliliğinin artırılması, daha sürdürülebilir ekonomi, çevre ve toplum dengesi sağlamak gibi önemli konularda sistem iyileştirilmelerini teşvik etmektedir (Kristensen ve Mosgaard, 2020).

Yüksek hacimli beton üretimi doğal kaynakların büyük miktarda tükenmesine ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. Bir ton çimento üretimi ile salınan ve çevre için büyük tehlike arz eden CO<sub>2</sub> miktarı yaklaşık olarak bir ton kadardır (Khan vd., 2020). Çimento ikame malzemelerin (ÇİM) kullanımı hem çimento tüketimini azaltma hem de CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı etki yapma potansiyeline sahiptir (Shi vd., 2021). Bu malzemeler genel olarak puzolan olarak adlandırılmaktadır.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az olan, ancak sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan malzemelerdir. Puzolanik aktivitede ise, puzolanın içerisindeki silisin Ca(OH)<sub>2</sub> ve su ile reaksiyona girerek CSH jellerinin oluşmasına ve dayanım artmasına sebep olmaktadır (Erdoğan, 2013). Ancak uçucu kül ve silis dumanı gibi geleneksel ÇTM'ler üretim, nakliye, maliyet ve kaynak tahsisi vb. kısıtlamalar nedeniyle kıtlıkla karşı karşıyadır. PÇK ise yüksek puzolanik aktiviteleri, hammadde kaynaklarının fazlalığı ve ekonomiklikleri ile önemli bir alternatiftir (Wang vd., 2021). Cüruf, uçucu kül, silis dumanı, metakaolin vb. çimentoda harmanlanmış mineral katkıları olarak kul-

lanılmaktadır. Bütün bitki artıkları arasında pirinç kabuğunun külü, en yüksek silis oranını içermektedir (Rizwan, 2006).

Bu çalışmada çimentolu yongalevha üretiminde kullanılacak ikame malzemelerin özellikleri, geopolimer çimento üretim prosesi ve odun-çimento uyumunun artırılmasında kullanılan işlemler hakkında bilgi verilecektir.

## 2. ÇİMENTOYA İKAME MALZEMELER

Puzolanlar, beton üretiminde çimento ikamesi olarak kullanılan temel malzemelerdir. Bir puzolan, “kendisi çok az veya hiç çimento değerine sahip olmayan ancak ince bölünmüş formda ve su varlığında, normal sıcaklıklarda kalsiyum hidroksitle kimyasal olarak reaksiyona girerek çimento özelliklerine sahip bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve alüminyumlu bir malzemeler” olarak ifade edilebilir (ASTM C125-15b, 2016).

Puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak oluşan çimentolu malzemeler betondaki doldurarak karışımın mekanik özelliklerinin ve dayanıklılığının artmasına neden olmaktadır (Alsubari vd., 2018). Tarım, enerji ve çelik endüstrileri, yaygın olarak ÇİM olarak kullanılan çeşitli yan ürünlerin büyük ölçüde kaynağını oluşturmaktadır (Wi vd., 2018). Yaygın olarak kullanılan ÇİM’ler uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, metakaolin, pirinç kabuğu külü, mısır koçanı külü, şeker kamışı külü, cam tozu malzemeleridir. Granit çamuru, kil tuğlası ve volkanik kül gibi malzemeler genellikle %20’ye kadar katkı oranlarında ÇİM olarak kullanılmıştır. Betondaki ÇİM dozajlarının artırılması, basınç dayanımının azalmasına neden olur ancak bu, mekanik ve kimyasal yollarla ve seramik atık tozu (CWP) ile iyileştirilebilir (Nwankwo vd., 2020). Aşağıda en fazla kullanılan puzolanik özellik gösteren pirinç kabuğu külü, mermer tozları, uçucu kül, metakaolin ve cam tozlarının özellikleri kısaca verilmiştir.

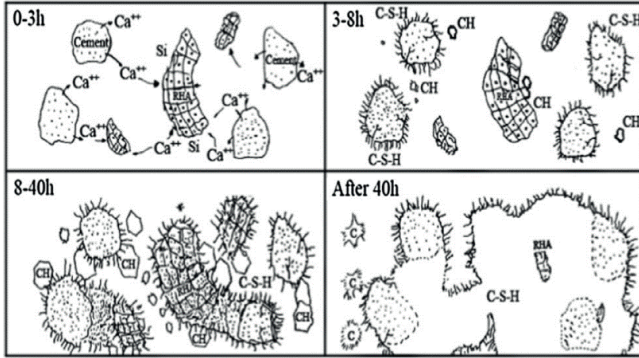
### 2.1. Pirinç Kabuğu Külü (PK)

PK eldesinde hammadde olan pirinç önde gelen gıda ürünlerinden birisi olmakla birlikte önemli üretim potansiyeline sahiptir. Pirinç üretimi 75 farklı ülkede gerçekleştirilmekte olup, en büyük üretici konumunda Çin bulunmaktadır. 2020/2021 yılı verilerine göre Türkiye’nin yıllık pirinç üretimi 749.197 tondur. Ayrıca 42.000 tonluk da ithalat yapılmaktadır (TEPGE, 2020)

Pirinç kabuğu külü, pirinç üretim işlemiyle elde edilen tarımsal bir atıktır. Ucuz ve dünyada bol miktarda mevcuttur. Gelişmiş ülkelerde, bu tür ürünler atık olarak değil, yeni bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, bu tür malzemeler çevrenin korunması ve yeni malzemelerin tasarımı için kullanılabilir. Pirinç kabuğunun kül içeriği esas olarak silikadan oluşur ve silika miktarı yaklaşık %94 kadardır (Yalcin ve Sevinç 2021). Pirinç endüstrisinin kaçınılmaz bir yan ürünü olan pirinç kabuğu, yüksek silikon içeriğine sahiptir ve doğal olarak parçalanması zordur. Bu sebeple çevreye zarar verme potansi-

yeli yüksektir. Pirinç kabuğun büyük kısmı yakılarak bertaraf edilmekte, ancak küçük miktarlar tuğla fırınlarında ve düşük basınçlı buhar üretiminde vb. kalorisiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu bakımdan pirinç kabuklarının katma değeri yüksek bir ürün olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir (Coutinho, 2003). Hu vd., (2020) yaptıkları çalışmada bir yakma tekniği geliştirmişler ve PÇK üretimi gerçekleştirmişleridir. Yaptıkları karbondioksit emisyonu ve enerji tüketimini de içeren analizler sonucunda PÇK kullanımının çevre dostu olduğunu doğrulamışlardır.

Günümüzde PK'nin çimentoya ikame olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar giderek ilgi görmektedir. Belirli koşullar altında üretime ilave edilen PK'ler, puzolanik aktivite oluşuma katkıda bulunan yüksek miktarda amorf  $\text{SiO}_2$  içermektedir (Rashid vd., 2010). PK'lerinin puzolanik reaksiyonu kalsiyum hidroksit (CH) içeriğinin azalmasını sağlayarak daha fazla Kalsiyum Silikat Hidrat (C-H-S) jelinin oluşmasını sağlamaktadır (Metha ve Monteiro, 2006). Su ise PK tanecik gözeneklerinin yeniden dağılmasını ve belirli bir iç kütleme rolüne sahip olmasını sağlamaktadır (Nguyen vd., 2011). Bu kürlenme etkisine bağlı olarak çimentonun hidrasyonunu arttırdığı gibi mukavemetin artması, klorür penetrasyon direnci, sülfat korozyonu, karbonatlaşma vb. gibi iyileştirici etkiler ortaya çıkabilmektedir (Salas vd., 2009). Şekil 1'de PK'nin puzolanik reaksiyon mekanizması gösterilmiştir (Hwang ve Chandra, 1997).



Şekil 1. PÇK'nin puzolanik reaksiyon mekanizması

Habeb ve Mahmud (2010) PK parçacık boyutunun betonun mukavemeti üzerine etkisini araştırmışlardır. PK'nin karışıma dahil edilmesi su ihtiyacını arttırmıştır. Karışma %10 PÇK ilavesi ile mukavemet özellikleri %30,8 oranında artış gösterirken, %20 oranına kadar ilave ile beton mukavemet özelliklerinde azaltıcı bir etki meydana gelmemiştir. Artan PK inceliği ile betonun mukavemet özelliklerinin arttığı belirlenmiştir. Huang vd., (2017) çimentoya ikame olarak %30 oranında silis dumanı ve PK kullanmışlar ve çimentoya %20 oranında PK ilave edilmesiyle eğilme ve basınç dayanımında %14,5 oranında artış elde etmişlerdir. Gill ve Siddiqui (2017) çimento yerine %40'a kadar

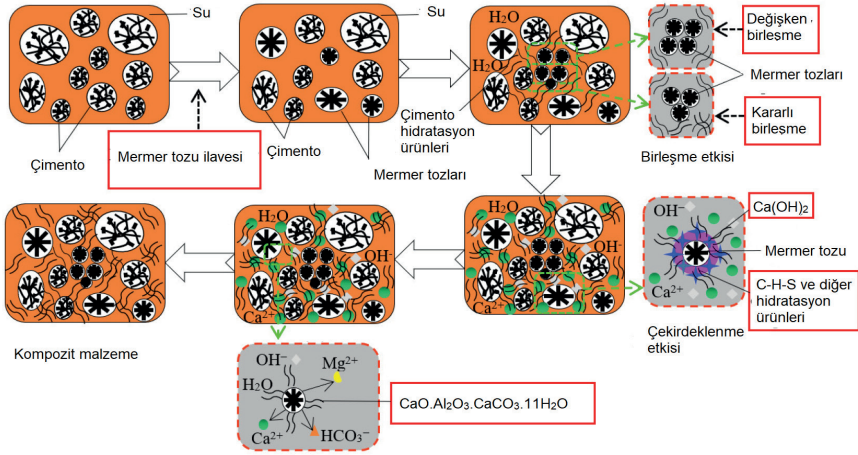
metakaolin ve PK kombinasyonu kullanmış ve 28 günlük basınç dayanımının %88 arttığını belirlemişlerdir. Ameri vd., (2019), çimentoya %15 oranında PK ikame edildiğinde basınç dayanımında %21'lik bir artış elde etmişlerdir. Rattanachu vd., (2020), PK'nin çimentoya %20 oranına kadar ikame kullanılmasıyla bir mukavemet artışı belirlemişlerdir. Çalışmalar incelendiğinde PK kullanımının çimentolu kompozitlerde özellikle mekanik özellikleri olumlu etkilediği ve çimentolu yongalevha üretimi içinde önemli bir katkı maddesi potansiyeli taşıdığı görülmektedir.

## 2.2. Mermer Tozları (MT)

İnşaat projelerinin hızla artış göstermesi sürdürülemez miktarda atık oluşumuna sebep olmaktadır. İnşaat atıkları içerisinde olan mermer tozları dünya çapında birçok mermer ocağı olmasına rağmen tekrar değerlendirilmeyen bir kaynaktır (Lam vd., 2019; Awad vd., 2019). Tarih boyunca yapı malzemesi olarak yoğun bir şekilde kullanılmış olan mermer; döşeme, anıtsal ve dekoratif uygulamalar için şekillendirilebilen kristal metamorfik bir kayadır (Sufian vd., 2021). Yapı sektöründe mermere olan talep üretilen atık mermer miktarında da artışa sebep olmaktadır Kapsamlı kullanım alanları nedeniyle, parçaların kesilmesi ve şekillendirilmesi sırasında toz partiküllerini açığa çıkaran önemli miktarda atık oluşmaktadır. Mermerlerin işlenmesi sırasında açığa çıkan toz miktarı %25 civarındadır. Ayrıca bu tozlar doğal kaynakları kirletmekte ve olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır (Saygılı, 2015; Nayak vd., 2022). Oza vd. (2022) mermer tozunun işçiler için tehlikeli kimyasallar içerdiğini ve sağlığı olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Mermer tozu (MT) esas olarak kalsiyum magnezyum, alüminyum, silikon ve demir oksitlerinden oluşur. Bu bileşiklerin solunması önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır.

Rasool vd. (2023) yaptıkları bir çalışmada, %15 mermer tozu ilavesinin beton ağırlığını %10,5'e kadar azalttığını ve yapı üzerindeki ölü yükü önemli derece düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Li vd., (2019) mermer tozlarının kullanımını ile çimento kullanım miktarında %33 ve çimento maliyetlerinde ise %10 oranında bir azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada mermer tozu kullanımının maliyetleri 40 \$/m<sub>3</sub>'ten 33 \$/m<sub>3</sub>'e düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu, küresel yıllık CO<sub>2</sub> emisyon miktarının daha da azalmasına sebep olacaktır (Marras vd., 2017). Çimentoya ikame olarak mermer tozu kullanımı ile mukavemet değerleri artış göstermektedir (Shukla, 2020). Ayrıca, Kumar vd. (2021) %5 oranında mermer tozu kullanımı ile betonun basınç dayanımının önemli derece arttığını belirlemişlerdir (42 N/mm<sup>2</sup>). Yapılan başka bir çalışmada parke taşı üretiminde çimentoya ikame mermer tozu kullanımı ile mekanik ve fiziksel özelliklerde önemli iyileşmeler gözlenmiştir. (Basınç dayanımını %32.3, yarmada çekme dayanımını %13.5 ve elastisite modülü değerleri %15.2 artmış, su emme %25.8 azalmıştır.) (Filiz vd., 2010). Şekil 2'de mermer tozu ilaveli çimentolu kompozitlerde hidrasyon ürünlerinin oluşum mekanizması verilmiştir (Wang vd., 2022).





Şekil 2. Atık mermer tozu ilaveli çimentolu kompozitlerde hidrasyon ürünlerinin oluşumu

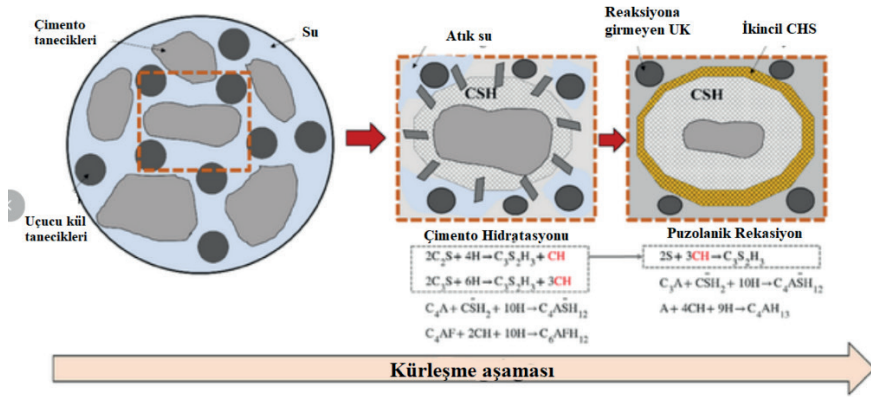
Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, 5.1 milyar m<sup>3</sup> muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık gelmektedir. Sektörde yaklaşık 1.500 adet doğal taş ocağı, fabrika ölçeğinde faaliyet gösteren 2.000 kadar tesis, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölye faaliyet göstermektedir (ÇTSO, 2018). Pirinç çeltiği külü ve mermer tozlarının suyla karıştırıldığında çimento gibi davranması ve çimentoya ikame olarak kullanıldığında malzemenin teknolojik özelliklerini düşürmek yerine iyileştirmesi bu çalışmanın özgün değerini açıkça göstermektedir. Bu bakımdan mermer atık tozlarının çimentolu yongalevha üretimde kullanılması hem katı atıkların çevreye verdiği zararın azaltılması hem de ekonomik katma değer kazandırmak açısından önemli bir kaynak olacaktır.

### 1.3. Uçucu Küller (UK)

Kömürün termik santrallerde yakılmasıyla, bol ve karmaşık antropojenik malzemeler olan taban külü ve uçucu kül adı verilen iki tür kömür külü meydana gelmektedir (Chindapasirt vd., 2007). Kömür külünün %80'inden fazlası UK oluşturmaktadır. (Rafieizonooz vd., 2016). Toprak, hava ve su kirliliğine neden olma gibi bazı çevresel sorunlar nedeniyle, uçucu küller doğrudan çevreye salınamamaktadır (Ren ve Sancaktar, 2019).

Günümüzde, UK çoğunlukla çöp toplama alanında veya kömür termik santrallerinde depolanmaktadır. Bu da geniş bir alan gerektirmekte ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. (Ahmaruzzaman, 2010). Rafieizonooz vd., (2022) göre dünya çapında her yıl yaklaşık 600 ila 800 milyon ton UK üretilmiştir. Görünüşe göre, elektrik enerjisi talebinin arttıkça UK bertarafı sorununun daha da kötüleşmesine sebep olacaktır (Khankhaje vd., 2023).

Bu bol miktarda bulunan yapay puzolan, yapı malzemesi olarak geniş bir kullanıma sahiptir. Geleneksel olarak betondaki çimentoya göre kullanım oranı yaklaşık %20-30 kadardır (ACI Committee, 1987). Daha yüksek oranda uçucu kül kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda (%70'e kadar) elde edilen betonun kaldırımlarda ve deniz yapılarında kullanılabileceği belirlenmiştir (Tori vd., 1986). UK kullanımının temel avantajları arasında çimentodan tasarruf yüksek dayanıklılık ve ayrıca hidrasyon ısısının düşürülmesi verilebilir. Mevcut araştırmada, çimentonun uçucu küle değiştirilmesinin optimum yüzdesinin, betonun su-çimento oranına bağlı olduğu belirlenmiştir (Rao vd., 2022). Şekil 3'te UK ve çimento ikamesi ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar verilmiştir (Wang ve Liu, 2024).



Şekil 3. Uçucu kül ilaveli betonda ikili kimyasal reaksiyonların şematik gösterimi

Termkhajornkit vd., (2009) UK içeren numunelerdeki basınç direncindeki artışın 28 gün sonra sıradan çimento hamurundan daha fazla olduğunu ve UK-çimento hamurundaki toplam kılcal gözeneklerdeki azalmanın da 28 gün sonra daha fazla olduğunu belirlemiştir.

Mardani-Aghabaglou ve Ramyar (2013) çimento içerisine UK ikame ilavesinde, UK içeriği arttıkça mukavemette azalma meydana gelmiştir. Bu hem daha yüksek su oranına hem de UK'nın çimentodan daha az mukavemete katkıda bulunmasına bağlanmıştır. Ancak, agrega daha az oranlarda UK ile değiştirildiğinde, betonun mukavemeti, iyileştirilmiş sıkıştırılabilirlik nedeniyle kontrol betonundan daha hızlı ve daha fazla artmıştır

Saha (2018) F sınıfı UK betonun basınç direncinin kürlenmeden 28 gün sonra azaldığını ve mukavemetin artan FA konsantrasyonu ile birlikte keskin bir şekilde düştüğünü belirlemiştir. Öte yandan, puzolanik reaksiyonlar nedeniyle, %30 ve %40 UK betonun direnci 180 güne kadar kademeli olarak artmış ancak 360 güne kadar referans betona göre düşük kalmıştır. F sınıfı UK'nın

hacminin artırılması, kireç eksikliği nedeniyle zayıf CS ile sonuçlanmaktadır

Behl vd., (2022) çimento ağırlığının %5-20 oranında uçucu külün ikame kullanımını amaçladıkları çalışmalarında 0,5 su-çimento oranı kullanılmışlardır. Taze beton için işlenebilirlik, su talebi, hidrasyon ısı ve sertleşmiş beton için basınç dayanımı, geçirgenlik, dayanıklılık gibi özellikler incelenmiş ve UK esaslı beton karışımı ile karşılaştırılmıştır. Uçucu kül esaslı beton karışımı, yapı malzemesi olarak ümit verici sonuçlar göstermiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmadan, Uçucu Kül beton karışımının normal beton karışımının kısmi bir ikamesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ghani vd. (2024) UK ve MT'nin karışım olarak çimentoya ikame kullanımı ile iyi sonuçlar elde etmişler ve %10 UK ve %40 MT içeren optimum karışım ile, kontrol karışım oranına kıyasla %16,21'lik bir iyileşme ile 4493,46 psi'lik bir basınç dayanımı sağlamışlardır. Ayrıca, geçirgenlik testi ve SEM analizi sonucunda, daha yoğun bir mikro yapıya yol açan puzolanik reaksiyon nedeniyle çimentolu malzemenin mikro yapısı iyileştirildiği belirlenmiştir.

Çimentolu yongalevha üretiminde %20 oranına kadar uçucu kül kullanımının çimentolu yongalevha özelliklerine etkisini incelemiş, uçucu kül ilavesi ile levhaların eğilme direnci değerleri ve boyutsal kararlılıklarının arttığı belirlenmiştir. Yüzeye dik çekme ve vida tutma direnci değerlerinde ise anlamlı bir değişim olmamıştır. Morfolojik inceleme sonucunda uçucu kül miktarının artımı ile C-H-S jellerinin arttığı belirlenmiştir (Yel ve Urun, 2022).

#### 1.4. Metakaolin (MK)

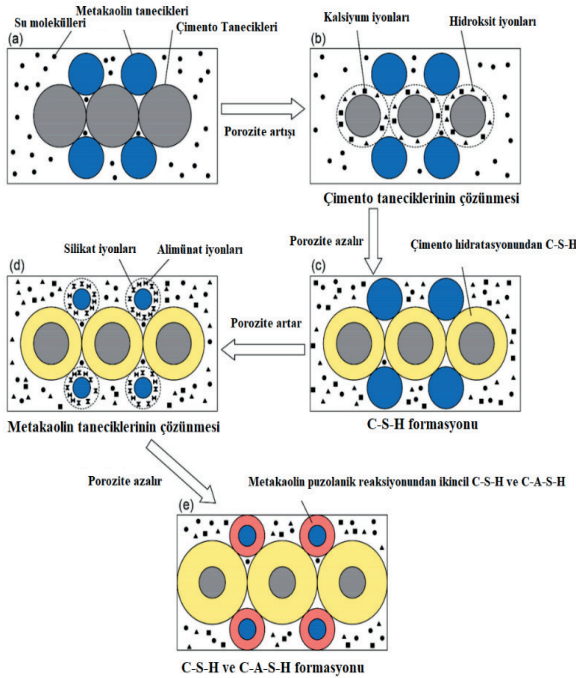
Metakaolin, 650–800 °C aralığında kaolin kilinin kalsine edilmesiyle elde edilen termal olarak aktive edilmiş bir alümino-silikat malzemedir. Tipik olarak %50–55 SiO<sub>2</sub> ve %40–45 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerir ve oldukça reaktiftir. MK ile doğal puzolanlar veya diğer yapay puzolan türleri arasındaki önemli bir fark, MK'nin birincil ürün, UK ise ikincil ürün veya yan ürün olmasıdır. Bu nedenle, MK istenen özellikleri elde etmek için kontrollü bir işlemle üretilebilir (Sabir vd., 2001; Singh ve Benipal, 2015). %10 MK içeren betonun, 180 güne kadar her yaşta kontrol Portland çimento betonundan daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu Belirlenmiştir (Zhang ve Malhotra, 1995).

MK doğal kaolin birikintilerinin ısı işleminden elde edilen bir tamamlayıcı çimentolu malzemedir. Tipik olarak, metakaolinler amorf yapıları ve yüksek yüzey alanları nedeniyle yüksek puzolanik aktivite göstermektedir. Reaktiviteleri ısı işleminden kaynaklandığı için, işleme değişkenlerinin etkisi (örneğin, kalsinasyon sıcaklığı, parçacık şekli ve boyutu) MK reaktivitesini etkilemektedir (Lagier ve Kurtis, 2007).

MK'nin yapısında bulunan silis ve alüminin çimentonun hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan Ca(OH)<sub>2</sub> ile reaksiyona girer ve yeni CSH yapıları ile alümina içeren fazlar oluşturmaktadır. Bu ürünler sayesinde mekanik özellik-

lerde ve dayanıklılıkta artışlar görülmektedir (Siddique ve Klaus, 2009). Şekil 4'te MK katkılı çimento harçları için erken hidrasyon reaksiyonu gösterilmiştir (Cai vd., 2021).

Atık gazete kağıtları ve MT kullanılarak yapılan çalışmada %1,5 gazete kâğıdı ve %20 MT kullanımı ile birlikte geleneksel beton dayanım özelliklerine benzer değerler elde edilmiştir (Rezaei Shahmirzadi vd., 2024).



Şekil 4. MK katkılı çimento harçları için erken hidrasyon reaksiyonu

Rocha vd., (2024) MK ve atık çimento tozu kullanımının beton üzerine etkisini araştırmışlardır. Özellikle, %15 RCPI ve %15 MK içeren karışım genel olarak en olumlu göstergeleri göstermiş, çimento tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları sırasıyla 12,08 kg/m<sup>3</sup>·MPa ve 10,01 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·MPa olarak ölçülmüştür. Burada MK eklenmesi ile matris yoğunluğunu artırdığını ve bunun da harcın yapısal özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu çalışma, MK ve atık çimento tozu kombinasyonunun harç üretimi için teknik olarak uygulanabilir ve sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu, çimento kullanımını optimize ettiğini ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını göstermektedir.

Huang vd., (2024) kalorimetrik tepki, mekanik özellikler ve kılcal su emilimi ölçümleri yoluyla metakaolin inceliğinin çimento esaslı malzemelerin performansına etkisi incelenmişlerdir. Sonuçlar, MK varlığının çimentonun hidrasyonunu hızlandırdığını ve hızlandırma etkisinin daha ince MK ile

daha belirgin olduğunu göstermektedir. Artan MK inceliği, erken yaşta puzolanik reaktivitesini arttırmaktadır. İnce MK, kaba MK karşılaştırıldığında çimento harçlarının mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırmıştır. Daha ince MK hem ilk hem de ikincil su emilim oranlarını azaltmış ve optimum etkiler %20 ikamede gözlemlenmiştir.

### 1.5. Cam Tozları (CT)

Cam atıkları, dünyadaki her ülkede meydana gelen çevre üzerindeki en büyük sorunlardan biridir. Camın doğası biyolojik olarak parçalanmaz ve ciddi bir çevre kirliliğine neden olma potansiyeli taşımaktadır. Benzer şekilde, şehirlerde çöp depolama alanlarının önemli bir kısmı bu malzemeler tarafından işgal edilmektedir. Bu cam atıklarının çevre üzerindeki etkisini azaltmanın en iyi çözümü, onları tekrar kullanmaktır. Cam atıklarının geri dönüştürülmesi ile enerji ve para tasarrufu sağlanabilir (Al-jburi Najad vd., 2019).

Cam, silika (silisyum oksit), sodyum karbonat, dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) ve kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ ) karışımının 1600 °C'ye kadar yüksek bir sıcaklıkta eritilmesiyle üretilebilir. Karışım daha sonra kristalleşmeden katılaşması için soğutulur. Sıvı olmayan ve katı olmayan durum camın amorf bir katı madde olmasını sağlar. Camlara renklerini ve belirli özelliklerini vermek için özel katkı maddeleri kullanılır (Heldman ve Lind, 1946).

Atık camın ve betondaki çoğu puzolanın puzolanik davranışını etkileyen özellikler incelik, kimyasal bileşim ve reaksiyon için mevcut gözenek yapısıdır. Camın puzolanik özellikleri ilk olarak yaklaşık 300  $\mu\text{m}$ 'nin altındaki parçacık boyutlarında fark edildi ve 100  $\mu\text{m}$ 'nin altında, camın 90 günlük kürlenmeden sonra düşük çimento değiştirme seviyelerinde puzolanik bir reaktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (İmbabi vd., 2012; İslam vd., 2017). Birçok araştırma, geri dönüştürülmüş camın ikame kullanımı ile (çimentonun %15 ila %20'sinin öğütülmüş atık cam tozu ile değiştirilmesi) daha yüksek yaşlarda, kontrol betonunkinden daha yüksek basınç dayanımları sağladığını göstermektedir (Nassar ve Soroushian, 2011). Kırılmış atık camın kimyasal bileşimi, camın büyük miktarda silisyum ve kalsiyum içerdiğini ve amorf yapısıyla; camın puzolanik veya hatta çimentolu bir malzeme olma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Camın biyolojik olarak parçalanmayan yapısı, bu atığın çöplüklere atılmasını kötü bir çözüm haline getirirken, çimento ve beton endüstrisi cam atıkları için çevre dostu bir atık yönetimi sağlayabilir (Jani ve Hogland, 2014).

Nwaubani (2013) Portland çimentosuna ikame %5, %20 ve %30'luk miktarlarda atık CT eklenmiş betonun özelliklerini araştırmıştır. Kullanılan atık cam malzemesi 300  $\mu\text{m}$  inceliğe kadar öğütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, cam tozunun, ikamenin uygun seviyesinde kullanıldığında son beton ürününün basınç dayanımı özelliklerini karşıladığını göstermiştir.

Atık cam tozu ve kumun beton içerisinde ikame kullanımının direnç özellik-

lerine etkisinin incelendiği çalışmada %5, %10 ve %15 CT kullanımının betonun basınç dayanımının 7, 28, 60 ve 90. günlerde yeterli direnç değerlerine çıkarılabileceğini ve bunun sürdürülebilir beton üretiminde makul bir miktar olarak kabul edilebileceğini belirlemişlerdir. Daha fazla ikame yüzdesi, basınç dayanımında bir azalmaya neden olmuştur. CT, puzolanik aktivite ve mikro çatlakları azaltma açısından betonun mikro yapısını iyileştirmektedir (Muhedin ve Ibrahim, 2023).

### 1.6. Odun Külü (OK)

OK Evsel odun sobalarında veya endüstriyel güç üretim tesislerinde odunun yakılmasıyla üretilmektedir. Kimyasal özellikleri odun türlerine göre değişir, ancak esas olarak kireç ve silika içermektedir. Biyoenerjiye olan ilginin artmasıyla birlikte kül üretiminin daha da artması muhtemeldir (Chowdhury vd., 2015; Vu vd., 2019).

OK, çimento ikamesi olarak kullanıldığında değişken özelliklere sahiptir. Bazı çalışmalarda OK için puzolanik aktivite gözlemlenmiştir ve yüksek silisyum, alüminyum ve demir oksit veya amorf silika içeriğiyle açıklanmıştır (Sigvardsen vd., 2021). Çimento ve odun külünün bağlanma karakteristiği kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ), silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ), alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ ), demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kükürt peroksit ( $\text{SO}_3$ ), kalsiyum sülfat ( $\text{CaSO}_4$ ) gibi temel bileşenlere bağlıdır ve odun külünde bir miktar alkali de bulunur, ancak odun külündeki elementlerin oranı yapıya, yanma prosedürüne, yanmamış karbonun varlığına vb. bağlı olarak değişebilir Bağlanma, esas olarak çimento hidratlanmaya devam ettikçe kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) gelişimine bağlıdır. Portland çimentosunda, Kalsiyum Silikat Hidrat (C-S-H) önemli bir hidrasyon elementidir ve çoğunlukla çimento üzerinde oluşan malzemelerin mukavemetini artırmaya yardımcı olur (Chowdhury vd., 2015; Hamid ve Rafiq, 2021).

## 2. SONUÇ

Sıradan Portland çimentosu güvenilir, sağlam ve uygun maliyetli özellikleri nedeniyle çok yönlü bir bağlayıcı olmakla birlikte sahip olduğu yüksek  $\text{CO}_2$  emisyonları nedeniyle çok fazla kirletici etki yapmaktadır. Çimentolu yongalevhalar çimento yanında doğal ahşap malzemenin de kullanımı ile daha çevreci, karbon emisyonu düşük ve üstün özelliklere sahip bir yapı malzemesi ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Yine de Çimentolu odun kompozitlerinin üretiminde ağırlık olarak ana bileşeni bağlayıcı olan çimento oluşturmaktadır. Bu bakımdan çimento ikame malzemelerinin de üretimde kullanılması ile çevre dostu, karbon-nötr bir toplum ve döngüsel ekonominin gerçekleştirilmesi için uygulanabilir ve finansal olarak karlı bir teknolojik ürün oluşturulabilir. Yapılacak yeni çalışmalarda tarımsal atıklar kullanılarak alkali aktivasyonu kullanılan çimentosuz (geopolimer) kompozitlerin üretimi ile daha çevreci sıfır emisyonlu malzemelerin geliştirilmesi ve atıkların daha verimli kullanımı üzerine çalışmalara odaklanılmalıdır.



**KAYNAKLAR**

- ACI Committee. 1987. Use of Fly ash in concrete, reported by ACI committee 226. ACI Material Journal, 84, 381-409.
- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. Progress in energy and combustion science, 36(3), 327-363, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2009.11.003>
- Ali, M. B., Saidur, R., Hossain, M. S. (2011). A review on emission analysis in cement industries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(5), 2252-2261, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.014>
- Al-jburi Najad, A. A., Hasan Kareem, J. K., Azline, N., Ostovar, N. 2019. Waste glass as partial replacement in cement–A review, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 357, No. 1, p. 012023), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012023>
- Alsubari, B., Shafigh, P., Ibrahim, Z., Jumaat, M. Z. (2018). Heat-treated palm oil fuel ash as an effective supplementary cementitious material originating from agriculture waste, Construction and Building Materials, 167, 44-54, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.134>
- Ameri, F., Shoaie, P., Bahrami, N., Vaezi, M., Ozbakkaloglu, T. (2019). Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 222, 796–813, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.190>
- Anju, T. R., Ramamurthy, K., Dhamodharan, R. (2016). Surface modified microcrystalline cellulose from cotton as a potential mineral admixture in cement mortar composite, Cement and Concrete Composites, 74, 147-153, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.09.003>
- Arruda Filho, N.T.D., Dantas, C. P., Leal, A. F., Barbosa, N. P., Silva, C. G., Alexandre, M. V. (2012). Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16, 894-902, <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800012>
- ASTM, C125–15b, Standard Terminology Relating to Concrete and, Concrete Aggregates (2016), <https://doi.org/10.1520/C0125-15B.2>.
- Awad, A.H., El-gamasy, R., Abd El-Wahab, A.A., Abdellatif, M.H. (2019). Mechanical behavior of PP reinforced with marble dust, Construction and Building Materials, 228, 116766, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116766>
- Barbu, M. C., Reh, R., Irle, M. (2014). Research developments in Wood Engineering and Technology, Wood-based composites, IGI Global.
- Behl, V., Singh, V., Dahiya, V., Kumar, A. (2022). Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix, Materials Today: Proceedings, 50, 941-945, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.353>
- Birinci, A. U., Öztürk, H., Demir, A. (2021). Yerli ağaç türlerinden üretilen CLT duvarların yanal yük altındaki performansı, Turkish Journal of Forestry, 22(3),

318-322, <https://doi.org/10.18182/tjf.932889>

- Cabral, M.R., Nakanishi, E. Y., dos Santos, V., Gauss, C., dos Santos, S. F., Fiorelli, J. (2018). Evaluation of accelerated carbonation curing in cement-bonded balsa particleboard, *Materials and Structures*, 51(2), 1-14, <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1179-y>
- Cai, R., Tian, Z., Ye, H., He, Z., Tang, S. (2021). The role of metakaolin in pore structure evolution of Portland cement pastes revealed by an impedance approach, *Cement and Concrete Composites*, 119, 103999, <https://doi.org/10.1016/j.cem-concomp.2021.103999>
- Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsaowaphak, A., Cao, H.T. (2007). Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash, *Construction and Building Materials*, 21(6), 1356-1361, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.10.005>
- Chowdhury, S., Maniar, A., Suganya, O.M. (2015a). Strength development in concrete with wood ash blended cement and use of soft computing models to predict strength parameters, *Journal of Advanced Research*, 6(6), 907-913, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.08.006>
- Chowdhury, S., Mishra, M., Suganya, O.M. (2015b). The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview, *Ain Shams Engineering Journal*, 6(2), 429-437, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005>
- Coutinho J.S. (2003). The combined benefits of CPF and rice husk ash improving the durability of concrete structures, *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 51-59, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00055-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00055-5)
- ÇTSO. (2018). "Mermer sektörü". Çorum Ticaret Sanayi Odası [https://www.corlutso.org.tr/uploads/docs/mermer\\_sektoru\\_ar.pdf](https://www.corlutso.org.tr/uploads/docs/mermer_sektoru_ar.pdf)
- Son erişim tarihi: (5 Kasım 2024).
- Erdoğan T. Y. (2013). *Beton*. Ankara: ODTÜ Yayını.
- Fan M., Ndikontar, M. K., Zhou, X. ve Ngamveng J. N. (2012). Cement-Bonded Composites made from Tropical Woods: Compatibility of Wood and Cement, *Construction and Building Materials*, 36, 135-140, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.089>
- Filiz, M., Cengiz, Ö., Soykan, O., Yunus, E. (2010). Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 57-72,
- Ghani, A., Khan, F.A., Khan, S.W., Haq, I.U., Li, D., Khan, D., Qureshi, B.A. (2024). Experimental study on the mechanical behavior of concrete incorporating fly ash and marble powder waste, *Scientific Reports*, 14(1), 19147, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70303-y>
- Gill, A.S., Siddique, R. (2017). Strength and micro-structural properties of self-compacting concrete containing metakaolin and rice husk ash, *Construction and Building Materials*, 142, 103-112, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.045>



- ding Materials, 157, 51-64, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.088>
- Godfrey, L., Ahmed, M. T., Gebremedhin, K. G., Katima, J. H., Oelofse, S., Osibanjo, O., Richter, U. F., Yonli, A. H. (2019). Solid waste management in Africa: governance failure or development opportunity. In *Regional Development in Africa* (235-249) Rijeka: Intechopen.
- Habeeb, G. A., Mahmud, H. B. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material, *Materials research*, 13, 185-190, <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000200011>
- Hamid, Z., Rafiq, S. (2021). An experimental study on behavior of wood ash in concrete as partial replacement of cement, *Materials Today: Proceedings*, 46, 3426-3429, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.776>
- Heldman, J.D., Lind, S.C. (1946). Techniques of Glass Manipulation in Scientific Research, *The Journal of Physical Chemistry*, 50(6), 489-489.
- Hossain, M.U., Wang, L., Iris, K.M., Tsang, D.C., Poon, C.S. (2018). Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard, *Construction and Building Materials*, 173, 474-480, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.066>
- Hu, L., He, Z., Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement, *Journal of Cleaner Production*, 264, 121744, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121744>
- Huang, Q., Wang, Q., Zhang, Z., Shen, C., Zhou, W., Xu, X., Zhu, X. (2024). Effect of metakaolin fineness on performance and microstructure of cement-based materials, *Journal of Building Engineering*, 111577, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.111577>
- Huang, H., Gao, X., Wang, H., Ye H. (2017). Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete, *Construction and Building Materials*, 149, 621-8, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.155>
- Hwang, C. L., Chandra, S. (1996). The use of rice husk ash in concrete. In *Waste materials used in concrete manufacturing* (184-234) Norwich: William Andrew Publishing.
- Imbabi, M. S., Carrigan, C., McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194-216, <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2013.05.001>
- Islam, G. S., Rahman, M., Kazi, N. (2017). Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 37-44, <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2016.10.005>
- Jani, Y., Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete—A review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1767-1775, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>
- Khan, R., Jabbar, A., Ahmad, I., Khan, W., Khan, A.N., Mirza, j. (2012). Reduction

in environmental problems using rice-husk ash in concrete, *Construction and Building Materials*, 30, 360–365, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.028>

Khankhaje, E., Kim, T., Jang, H., Kim, C. S., Kim, J., Rafieizonooz, M. (2023). Properties of pervious concrete incorporating fly ash as partial replacement of cement: A review, *Developments in the Built Environment*, 14, 100130,

<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100130>

Kristensen, H. S., Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy—moving away from the three dimensions of sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 243, 118531, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>

Kumar, V., Singla, S., Garg, R. (2021). Strength and microstructure correlation of binary cement blends in presence of waste marble powder, *Materials Today: Proceedings*, 43, 857–862, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.073>

Lagier, F., Kurtis, K.E. (2007). Influence of Portland cement composition on early age reactions with metakaolin, *Cement and Concrete Research*, 37(10), 1411–1417, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.07.002>

Lam, P.T., Ann, T.W., Wu, Z., Poon, C.S. (2019). Methodology for upstream estimation of construction waste for new building projects, *Journal of Cleaner Production*, 230, 1003–1012, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.183>

Li, L.G., Huang, Z. H., Tan, Y. P., Kwan, A. K. H., Chen, H. Y. (2019). Recycling of marble dust as paste replacement for improving strength, microstructure and eco friendliness of mortar, *Journal of Cleaner Production*, 210, 55–65,

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.332>

Mardani-Aghabaglou, A., Ramyar, K. (2013). Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method, *Construction and Building Materials*, 38, 356–364, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.109>

Marras, G., Careddu, N., Siotto, G. (2017). Filler calcium carbonate industrial applications: the way for enhancing and reusing marble slurry, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 2, 63–77, <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2017-02.S-07>

Metha, P. K., Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties and Materials* (Third edition), New York: the McGraw-Hill Companies.

Mikulčić, H., Klemeš, J. J., Vujanović, M., Urbaniec, K., Duić, N. (2016). Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process, *Journal of Cleaner Production*, 136, 119–132, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.145>

Muhedin, D. A., Ibrahim, R. K. (2023). Effect of waste glass powder as partial replacement of cement and sand in concrete, *Case Studies in Construction Materials*,

19, e02512, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02512>

Nassar, R. U. D., Soroushian, P. (2011). Field investigation of concrete incorporating milled waste glass, *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 37(4), 307-319, <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2011.307>

Nguyen, V. T., Ye, G., Breugel, K. V., Copuroglu, O. (2011). Hydration and microstructure of ultra high performance concrete incorporating rice husk ash, *Cement and Concrete Research*, 41(11), 1104-1111, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.009>

Nwankwo, C. O., Bamigboye, G. O., Davies, I. E., Michaels, T. A. (2020). High volume Portland cement replacement: A review, *Construction and Building Materials*, 260, 120445, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120445>

Oza, R. B., Kangda, M. Z., Agrawal, M. R., Vakharia, P. R., Solanki, D. M. (2022). Marble dust as a binding material in concrete: a review, *Materials Today: Proceedings*, 60(1), 421-430, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.278>

Rafieizonooz, M., Khankhaje, E., Rezaia, S. (2022). Assessment of environmental and chemical properties of coal ashes including fly ash and bottom ash, and coal ash concrete, *Journal of Building Engineering*, 49, 104040, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104040>

Rafieizonooz, M., Mirza, J., Salim, M. R., Hussin, M. W., Khankhaje, E. (2016). Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement, *Construction and Building Materials*, 116, 15-24, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.080>

Rao, B.K., Reddy, M.A.K., Rao, A.V. (2022). Effect of flyash as cement replacement material and pore filling material in concrete, *Materials Today: Proceedings*, 52, 1775-1780, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.444>

Rashid, M.H., Molla, M.K.A., Ahmed, T.U. (2010). Durability of mortar in presence of rice husk ash, *World Academy of Science Engineering and Technology*, 43, 736-739.

Rasool, A. M., Hameed, A., Qureshi, M. U., Ibrahim, Y. E., Qazi, A. U., Sumair, A. (2023). Experimental study on strength and endurance performance of burnt clay bricks incorporating marble waste, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(1), 240-255, <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.2024203>

Rattanachu, P., Toolkasikorn, P., Tangchirapat, W., Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C. (2020). Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder, *Cement and Concrete Composites*, 108, 103533, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103533>

Ren, X., Sancaktar, E. (2019). Use of fly ash as eco-friendly filler in synthetic rubber for tire applications, *Journal of Cleaner Production*, 206, 374-382, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.202>

- Rezaei Shahmirzadi, M., Gholampour, A., Hosseini, S. A., Ngo, T. D., Nematzadeh, M. (2024). Wastepaper fiber-reinforced concrete containing metakaolin: Effect on fracture behavior, *Structural Concrete*, 25(4), 2931-2946 <https://doi.org/10.1002/suco.202300849>
- Rizwan S. A. (2006). High performance mortars and concretes using secondary raw materials. PhD Thesis, Technical University of Bergakademie, Freiberg, Germany.
- Rowell, R. M. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* (Second Edition). Florida: CRC Press.
- Sabir, B. B., Wild, S., Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, *Cement and concrete composites*, 23(6), 441-454, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Saha, A. K. 2018. Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete, *Sustainable Environment Research*, 28(1), 25-31, <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001>
- Salas, A., Delvasto, S., Gutierrez, R. M. D., Lange, D. (2009). Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete, *Cement and Concrete Research*, 39(9), 773-788, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.006>
- Saygili, A. (2015). Use of waste marble dust for stabilisation of clayey soil, *Materials Science*, 21(4), 601-606, <https://doi.org/10.5755/j01.ms.21.4.11966>
- Shi, J., Tan, J., Liu, B., Chen, J., Dai, J., He, Z. (2021). Experimental study on full-volume slag alkali-activated mortars: Air-cooled blast furnace slag versus machine made sand as fine aggregates, *Journal of Hazardous Materials*, 403,123983, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123983>
- Shukla, A., Gupta, N., Kishore, K. (2020). Experimental investigation on the effect of steel fiber embedded in marble dust-based concrete, *Materials Today: Proceedings*, 26, 2938-2945, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.607>
- Siddique, R., Klaus, J. 2009. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science*, 43(3-4), 392-400, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.11.007>
- Sigvardsen, N. M., Geiker, M. R., Ottosen, L. M. (2021). Reaction mechanisms of wood ash for use as a partial cement replacement, *Construction and Building Materials*, 286, 12288, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122889>
- Singh, K., Benipal, G.S. (2015). Strengthening of cement concrete using fly ash and metakoline: A review. *International Journal of Engineering Development and Research*, 3(4), 722-725.
- Sufian, M., Ullah, S., Ostrowski, K. A., Ahmad, A., Zia, A. Sliwa-Wieczorek, K., Awan, A. A. (2021). An experimental and empirical study on the use of waste marble powder in construction material, *Materials*, 14(14), 3829, <https://doi.org/10.3390/ma14143829>

[org/10.3390/ma14143829](https://doi.org/10.3390/ma14143829)

- Tabarsa, T., Ashori, A. (2011). Dimensional stability and water uptake properties of cement-bonded wood composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(2), 518-521, <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0295-3>
- TEBGE, (2020). Tarım ürünleri piyasası-Çeltik. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü  
[https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasaları/2020-Temmuz%20Tarım%20Ürünleri%20Raporu/Çeltik,%20Temmuz 2020,%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasa%20Raporu.pdf](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasaları/2020-Temmuz%20Tarım%20Ürünleri%20Raporu/Çeltik,%20Temmuz%202020,%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasa%20Raporu.pdf)
- (Erişim tarihi: 10.12.2024).
- Termkhajornkit, P., Nawa, T., Yamashiro, Y., Saito, T. (2009). Self-healing ability of fly ash-cement systems, *Cement and concrete composites*, 31(3), 195-203, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.009>
- Torii, K., Kawamura, M., Hasaba, S. (1986). Application of high fly ash lean concretes to the subbase for pavement, *JCI*, 8, 37-44,
- Vu, V.A., Cloutier, A., Bissonnette, B., Blanchet, P., Duchesne, J. (2019). The effect of wood ash as a partial cement replacement material for making wood-cement panels, *Materials*, 12(17), 2766, <https://doi.org/10.3390/ma12172766>
- Wang, J., Xiao, J., Zhang, Z., Han, K., Hu, X., Jiang, F. (2021). Action mechanism of rice husk ash and the effect on main performances of cement-based materials: A review, *Construction and Building Materials*, 288, 123068, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123068>
- Wang, T., Yang, W., Zhang, J. (2022). Experimental studies on mechanical properties and microscopic mechanism of marble waste powder cement cementitious materials, *Crystals*, 12(6), 868, <https://doi.org/10.3390/cryst12060868>
- Wang, Y., Liu, J. 2024. Theoretical investigation on elastic property evolutions of low volume fly ash concrete, *Journal of the American Ceramic Society*, 108(1), e20127, <https://doi.org/10.1111/jace.20127>
- Wi, K., Lee, H. S., Lim, S., Song, H., Hussin, M. W., Ismail, M. A. (2018). Use of an agricultural by-product, nano sized Palm Oil Fuel Ash as a supplementary cementitious material, *Construction and Building Materials*, 183, 139-149, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.156>
- Yalcin, N., Sevinc, V. (2001). Studies on silica obtained from rice husk, *Ceramics International*, 27(2), 219-224.
- Yel, H., Urun, E. 2022. Performance of cement-bonded wood particleboards produced using fly ash and spruce planer shavings, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, (24): 44, 1-10, <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100444>
- Zhang, M. H., Malhotra, V.M. (1995). Characteristics of a thermally activated aluminosilicate pozzolanic material and its use in concrete. *Cement and concrete research*, 25(8), 1713-1725.



# BÖLÜM 5

## **OSMANTHUS DECORUS (Boiss. & Balansa) KASAPLIGIL TÜRÜNÜN VEJETATİF ÜRETİMİNDE KÖKLENDİRME MASASI SICAKLIĞI VE FİTOHORMON UYGULAMALARININ ROLÜ**

*Deniz GÜNEY<sup>1</sup>,*

*Fahrettin ATAR<sup>2</sup>*

1 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0001-7222-6162, d\_guney@ktu.edu.tr

2 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0003-4594-8148, fatar@ktu.edu.tr

## Giriş

Oleaceae Hoffmanns. & Link familyasına ait *Osmanthus* Lour. cinsinin en önemli türlerinden biri olan *Osmanthus decorus* (Boiss. & Balansa) Kasapligil, çalı formunda herdem yeşil relikt bir bitkidir (Yaltırık, 1978; Erşen Bak ve Çifci, 2020; WFO, 2024). Türün anavatanı Batı Asya olup, Kafkasya, Türkiye ve Gürcistan'da da yayılış göstermektedir. Ayrıca, Türkiye'deki yayılışını ise Artvin, Rize, Trabzon ve Giresun illerinde yapmaktadır (Yaltırık, 1978; Kayacık, 1982; Eminağaoğlu, 2014). Yöresel olarak "Şekem" adıyla bilinen *O. decorus* türünün taze meyveleri yenilebilir ya da yaprakları kaynatılarak içilebilir. Flavonoid açısından zengin bir içeriğe sahip olması ve iç hastalıkları üzerine olan olumlu etkileri ile bu tür, tıbbi bir bitki olarak değerlendirilmektedir (Erşen Bak ve Çifci, 2020; Avcı vd., 2024). Ayrıca, süs bitkisi olarak canlı çitlerde ya da farklı kentsel tasarım alanlarında tercih edilmektedir (Kayacık, 1982; Surat, 2020). Relikt bir bitki olmasının yanı sıra tıbbi açıdan sahip olduğu önem ve estetik değeri ile çevre düzenlemelerinde sunduğu avantajlar nedeniyle ülkemizin önemli türleri arasında yer alan *O. decorus* türünün yaygınlaştırılabilmesi ve devamlılığının sağlanabilmesi için en uygun üretim yöntemlerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Çok yıllık süs bitkisi türlerinin çoğu genel olarak aşı, çelik ve daldırma yöntemleriyle üretilmektedir. Bu üretim yöntemleri arasında gövde, yaprak veya kök çeliklerin kullanımı, pratikliği ve basitliği nedeniyle en yaygın uygulanan teknik olarak bilinmektedir. Gövde çeliklerinin köklenme başarısı anaç bitkinin fizyolojik durumuna, çeliğin dikim zamanına (Hartmann vd., 2018) ve kullanılan bitki büyüme düzenleyicilerinin (fitohormon) türüne bağlıdır (Azad ve Matin, 2015; Azad vd., 2016; Singh ve Rawat, 2017). Adventif kök oluşumu, birçok süs bitkisi türünün çoğaltılması için kritik bir fizyolojik süreçtir. Genellikle normal gelişim sırasında oluşmasının yanı sıra besin eksikliği, ağır metal stresi ve yaralanma gibi stres koşullarına yanıt olarak da oluşmaktadır (Steffens ve Rasmussen, 2016). Öte yandan, adventif kök oluşturma yeteneği bitkilerin yaşlanmasına bağlı olarak azalmaktadır (Pizarro ve Diaz-Sala, 2019). Çeliklerde köklenme, endojen bitki büyüme düzenleyicileri ile de yakından ilişkili olup (Abo El-Enien ve Omar, 2018), köklenmenin yetersiz olması durumunda eksojen olarak fitohormon kullanımı tavsiye edilmektedir (Fogaca ve Fett-Neto, 2005). Köklenmeyi teşvik edici olarak tanımlanan bitki hormonu grubunda yer alan oksinler, bitki büyümesi ve gelişiminin düzenlenmesinde birçok rol oynamaktadır (Leyser, 2018). Bu roller arasında endositoz, hücre polaritesi, hücre döngüsü kontrolü, hücre uzaması ve farklı büyüme gibi yerel tepkilere ilave olarak embriyogenez gibi makroskopik olaylar da bulunmaktadır (Sauer vd., 2013). Çelikle üretimde indol-3-bütirik asit (IBA), indol-3-asetik asit (IAA) ve  $\alpha$ -naftalin asetik asit (NAA) en yaygın kullanılan oksinler olarak dikkat çekmektedir (Fachinello vd., 2005; Cordeiro vd., 2016). 1930'lardan bu yana, bahçecilik endüstrisi için vejetatif üretimde oksin



uygulamak amacıyla en sık kullanılan yöntemler arasında bazal hızlı daldırma, pudra formunda uygulama ve seyreltilmiş solüsyon yöntemi yer almaktadır (Blythe vd., 2007). Oksin grubu fitohormonların pudra formunda uygulandığı birçok çalışma mevcuttur (Güney vd., 2016; Bayraktar vd., 2017). Fidanlıktaki ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullar da yine çeliklerin köklenmesi ile sonraki büyüme ve gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (Hartmann vd., 2018). Ayrıca, çeliklerin dikildiği köklendirme ortamı, kök ve sürgün gelişimi için yüksek öneme sahip diğer bir etkidir (Ibironke, 2017). Süs bitkisi türlerinin çelikle üretiminde sıklıkla kullanılan köklendirme ortamlarının başında su tutma ve havalanma kapasitesi yüksek olan perlit yer almakta olup (Şimşek, 1993; Hartmann vd., 2018), bilimsel araştırmalarda çokça kullanılmaktadır (Güney vd., 2021a; Kyrkas vd., 2024).

Bu çalışmanın amacı *Osmanthus decorus* (Boiss. & Balansa) Kasapligil türüne ait yumuşak çeliklerin köklendirilmesi üzerine farklı köklendirme masası sıcaklıkları ile oksin grubu fitohormonların etkilerini araştırmak ve en uygun üretim koşullarını ortaya koymaktır.

### **Materyal ve Yöntem**

Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Kanuni Yerleşkesi'nde bulunan Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası'nda yürütülen bu çalışmada, hem tıbbi hem de estetik açıdan yüksek öneme sahip *Osmanthus decorus* (Boiss. & Balansa) Kasapligil türü için gövde çelikleriyle köklendirme denemeleri yapılmıştır. Bu kapsamda, optimum köklendirme koşullarını belirlemek amacıyla farklı köklendirme masası sıcaklıkları ile fitohormon uygulamalarının etkinliği incelenmiştir. Deneme için gerekli çelik materyalleri, KTÜ Kanuni Yerleşkesi'ndeki anaç bireyden nisan ayında toplanmıştır. Sürgünlerin su kaybını en aza indirmek amacıyla, toplama işlemi sabahın erken saatlerinde gerçekleştirilmiş, ardından materyaller seraya taşınmak üzere soğutucu kaplara yerleştirilmiştir. Aynı gün içinde toplanan sürgünlerden yaklaşık 12 cm uzunluğunda hazırlanan yumuşak çelikler, yüksek su tutma kapasitesi ve iyi hava geçirgenliği nedeniyle köklendirme ortamı olarak tercih edilen perlite dikilmiştir. *O. decorus* türüne ait anaç birey ile çelik dikimlerine ilişkin görseller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. *Osmanthus decorus* anaç bireyi (solda) ile köklendirme ortamına dikilen çelikleri (sağda)

Çalışmanın yürütüldüğü KTÜ Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası birçok teknolojiyi bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar arasında sera ortamları içerisindeki nem ve sıcaklık düzeylerinin otomasyon sistemi ile ayarlanabilmesi ve köklendirme masalarında alttan ısıtma sistemlerinin bulunması önemli bir yer tutmaktadır. *O. decorus* türüne ait yumuşak çeliklerin köklenme durumlarını incelemek amacıyla dikimlerin gerçekleştirildiği teknolojik serada iki farklı ortam oluşturulmuştur. Kurgulanan sera ortamlarına ilişkin hava sıcaklığı, köklendirme masası sıcaklığı ve nem düzeyi değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sera ortamlarının sıcaklık ve nem koşulları

Sera Ortamları	Hava Sıcaklığı	Köklendirme Masası Sıcaklığı	Nem Düzeyi
1	20±2°C	25±2°C	%70±2
2	20±2°C	20±2°C	%70±2

Çalışma boyunca sera ortamlarını birbirinden ayırmak amacıyla temel farklılık olan köklendirme masası sıcaklıkları kullanılmıştır. Çelikler, 1 ve 2 numaralı sera ortamlarında bulunan perlit köklendirme ortamlarına dikilmeden hemen önce köklenmeyi teşvik edici oksin grubu fitohormonlarla muamele edilmiştir. Fitohormon uygulamalarının etkilerini kıyaslamak amacıyla kontrol çelikleri de çalışmada yer almıştır. Buradan hareketle çalışmada kullanılan fitohormonlar, uygulama dozları ve ilgili işlemler aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. *Osmanthus decorus* türünün çelikle köklendirilmesi amacıyla uygulanan işlemler

Fitohormonlar	Dozlar	İşlemler
İndol-3-Bütrik Asit (IBA)	3000 ve 5000 ppm (pudra formunda)	IBA 3000 ve IBA 5000 ppm
İndol-3-Asetik Asit (IAA)		IAA 3000 ve IAA 5000 ppm
$\alpha$ -Naftalin Asetik Asit (NAA)		NAA 3000 ve NAA 5000 ppm
Fitohormon kullanılmayan çelikler	-	Kontrol

*O. decorus* türünün yumuşak çelikleri, her bir sera ortamında toplam yedi farklı işlem kullanılarak tesadüfi bloklar deneme desenine göre köklendirme ortamına aktarılmıştır. Her bir işlem için 10 adet çeliğin üç tekrarlı olarak dikildiği çalışmada, 1 ve 2 numaralı sera ortamlarında 210'ar adet olacak şekilde toplam 420 adet çelik kullanılmıştır.

Köklenme sürecinin değerlendirilmesi amacıyla düzenli kontroller yapılarak çeliklerdeki ilk kök oluşum zamanı kaydedilmiştir. Araştırma sonucunda ölçülen parametreler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Çalışmada ölçülen parametrelere ilişkin tanımlamalar

Ölçülen Parametre	Açıklama	Birim
Köklenme Yüzdesi	Kök oluşturan çeliklerin toplam çelik sayısına oranının yüzdesel karşılığı	%
Kök Boyu	Köklendirme ortamından sökülen çeliklerde oluşan en uzun kök boyu	cm
Kök Sayısı	Köklendirme ortamından sökülen çeliklerde meydana gelen ana köklerin sayısı	adet

Çalışmada incelenen parametreler, IBM SPSS Statistics 27 programı kullanılarak varyans analizine (univariate) tabi tutulmuştur. Bu analiz sera ortamı, işlem ve bunların etkileşimlerinin köklenme yüzdesi, kök boyu ve kök sayısı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, istatistiksel olarak anlamlı farklılığın tespit edildiği parametre için her iki sera ortamına ait veriler birlikte ele alınarak işlemlerin oluşturduğu gruplar Duncan testi ile belirlenmiştir.

## Bulgular

*Osmanthus decorus* türünün yumuşak çelikleri, köklenme sürecini 225 günde tamamlamıştır. İlk kök oluşumu dikimden 80 gün sonra 2 numaralı sera ortamında (köklendirme masası sıcaklığı  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) yer alan NAA 5000 ppm işleminde meydana gelmiştir. Sera ortamı, işlem ve sera ortamı  $\times$  işlem etkileşiminin köklenme yüzdesi, kök boyu ve kök sayısı üzerindeki etkilerine ilişkin varyans analizi (univariate) sonuçları aşağıda sunulmuştur (Tablo 4).

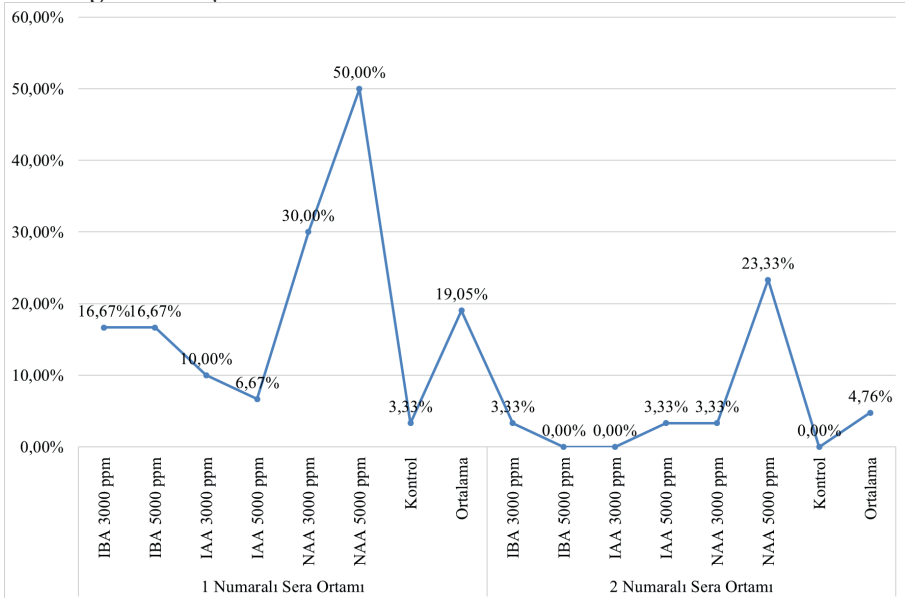
Tablo 4. Köklenme yüzdesi, kök boyu ve kök sayısına ilişkin varyans analizi sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Köklenme Yüzdesi	Sera Ortamı	2142,857	1	2142,857	20,455	<0,001**
	İşlem	5114,286	6	852,381	8,136	<0,001**
	Sera Ortamı × İşlem	857,143	6	142,857	1,364	0,263
Kök Boyu	Sera Ortamı	173,318	1	173,318	6,064	0,018*
	İşlem	137,569	6	22,928	0,802	0,574
	Sera Ortamı × İşlem	533,588	6	88,931	3,112	0,014*
Kök Sayısı	Sera Ortamı	17,224	1	17,224	3,818	0,058
	İşlem	36,893	6	6,149	1,363	0,254
	Sera Ortamı × İşlem	33,187	6	5,531	1,226	0,314

\*  $p < 0,05$ : %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır.

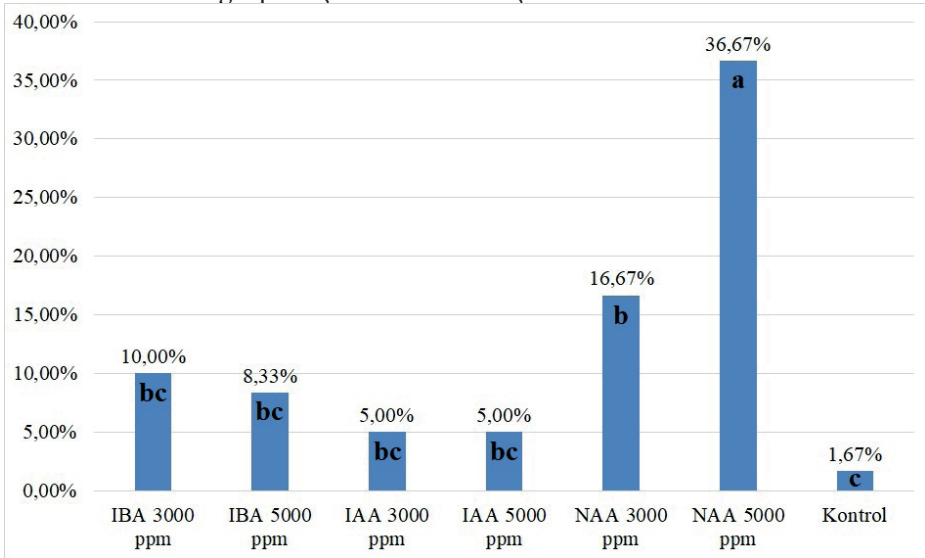
\*\*  $p < 0,01$ : %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır.

Varyans analizi (univariate) sonuçlarına göre, köklenme yüzdesi açısından hem sera ortamları arasında hem de işlemler arasında %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar meydana gelirken, sera ortamı × işlem etkileşimine ilişkin anlamlı bir farklılık meydana gelmemiştir. Kök boyu açısından sera ortamları arasında ve sera ortamı × işlem etkileşiminde %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ortaya çıkarken, kök sayısı açısından sera ortamı, işlem ve sera ortamı × işlem etkileşimine ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Köklenme yüzdesi açısından farklı sera ortamlarındaki işlemler için oluşan ortalama değerler Şekil 2'de gösterilmiştir.



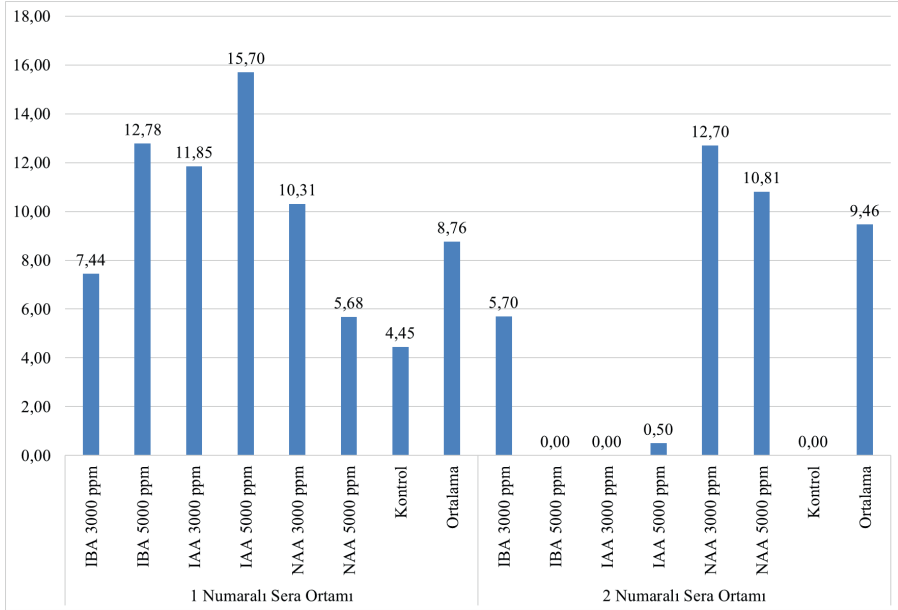
Şekil 2. Farklı sera ortamlarındaki işlemler açısından ortalama köklenme yüzdesi değerleri

1 numaralı sera ortamındaki (köklendirme masası sıcaklığı  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) en yüksek ortalama köklenme yüzdesi %50,00 ile NAA 5000 ppm işleminde elde edilmiştir. Bu işlemi %30,00 köklenme yüzdesiyle NAA 3000 ppm takip etmiştir. IBA 3000 ve 5000 ppm işlemleri, eşit değerler göstererek %16,67 seviyesinde köklenme yüzdesi oluşturmuştur. Daha düşük oranlar sırasıyla %10,00 ile IAA 3000 ppm işleminde ve %6,67 ile IAA 5000 ppm işleminde meydana gelirken, en düşük oran %3,33 ile kontrol çeliklerinde oluşmuştur. 1 numaralı sera ortamının genel ortalama köklenme yüzdesi değeri ise %19,05 olarak hesaplanmıştır. 2 numaralı sera ortamındaki en yüksek ortalama köklenme yüzdesi %23,33 ile NAA 5000 ppm işleminde meydana gelirken, bu değeri %3,33 ile IBA 3000, IAA 5000 ve NAA 3000 ppm işlemleri izlemiştir. IBA 5000 ve IAA 3000 ppm işlemleri ile kontrol çeliklerinde kök oluşumu gerçekleşmemiştir. 2 numaralı sera ortamının genel ortalama köklenme yüzdesi değeri ise %4,76 olarak belirlenmiştir. Köklenme yüzdesine ilişkin işlemler arasında ortaya çıkan Duncan testi grupları Şekil 3'te verilmiştir.



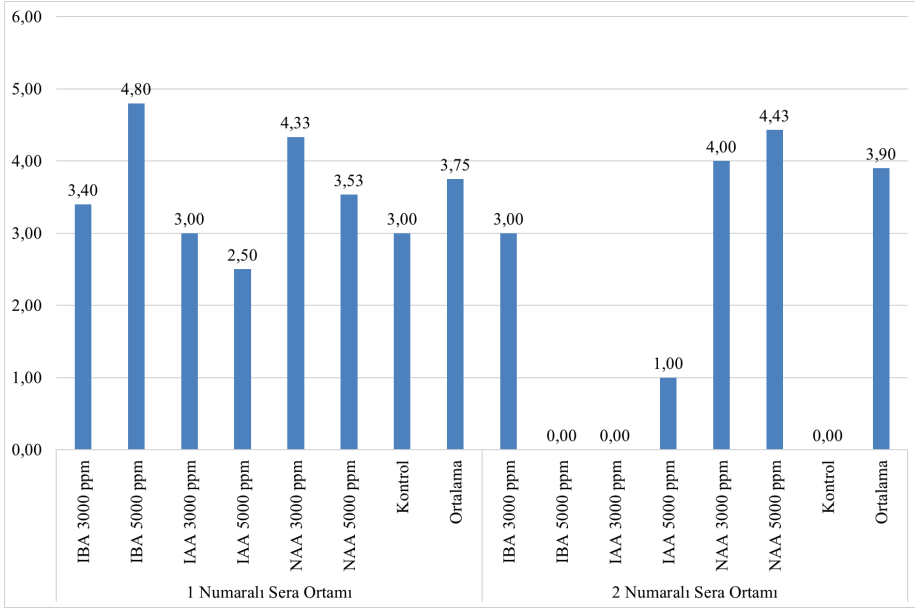
Şekil 3. Köklenme yüzdesi açısından işlemlere ilişkin oluşan gruplar

1 ve 2 numaralı sera ortamlarındaki işlemler birlikte değerlendirilerek elde edilen Duncan testi sonuçları incelendiğinde, köklenme yüzdesi açısından işlemler arasında dört farklı grup meydana gelmiştir. İlk grupta tek başına NAA 5000 ppm işlemi bulunurken, ikinci grupta ise NAA 3000 ppm işlemi yer almıştır. Üçüncü grubu IBA 3000, IBA 5000, IAA 3000 ve IAA 5000 ppm işlemleri birlikte oluştururken, son grup ise tek başına kontrol tarafından oluşturulmuştur. Aşağıda verilen Şekil 4'te kök boyuna ilişkin ortalama değerler grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 4. Farklı sera ortamlarındaki işlemler açısından ortalama kök boyu değerleri

Kök boyu değerleri açısından 1 numaralı sera ortamındaki en yüksek ortalama 15,70 cm ile IAA 5000 ppm işleminde elde edilmiştir. Bunu 12,78 cm ile IBA 5000 ppm, 11,85 cm ile IAA 3000 ppm ve 10,31 cm ile NAA 3000 ppm işlemleri takip etmiştir. Daha düşük değerler ise 7,44 cm ile IBA 3000 ppm ve 5,68 cm ile NAA 5000 ppm işlemlerinde kaydedilmiştir. En düşük ortalama kök boyu değeri 4,45 cm olarak kontrol çeliklerinde oluşurken, 1 numaralı sera ortamının genel ortalama kök boyu değeri ise 8,76 cm olarak hesaplanmıştır. 2 numaralı sera ortamında ise en yüksek ortalama kök boyu 12,70 cm ile NAA 3000 ppm işleminde gözlemlenmiştir. Bu değeri 10,81 cm ile NAA 5000 ppm ve 5,70 cm ile IBA 3000 ppm işlemleri takip etmiştir. En düşük ortalama kök boyu değeri 0,50 cm ile IAA 5000 ppm işleminde ortaya çıkarken, IBA 5000 ve IAA 3000 ppm işlemleri ile kontrol çeliklerinde kök meydana gelmemiştir. 2 numaralı sera ortamında oluşan ortalama kök boyu değeri ise 9,46 cm olarak belirlenmiştir. Kök sayısına ilişkin 1 ve 2 numaralı sera ortamlarında işlemler açısından ortaya çıkan ortalama değerler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Farklı sera ortamlarındaki işlemler açısından ortalama kök sayısı değerleri

1 numaralı sera ortamında elde edilen ortalama kök sayısı değerlerinin büyükten küçüğe doğru sırasıyla 4,80 adet (IBA 5000 ppm), 4,33 adet (NAA 3000 ppm), 3,53 adet (NAA 5000 ppm), 3,40 adet (IBA 3000 ppm), 3,00 adet (IAA 3000 ppm ve kontrol) ve 2,50 adet (IAA 5000 ppm) olduğu belirlenmiştir. Bu ortam için genel ortalama kök sayısı 3,75 adet olarak elde edilmiştir. 2 numaralı sera ortamında oluşan ortalama kök sayısı değerlerinin ise büyükten küçüğe doğru sırasıyla 4,43 adet (NAA 5000 ppm), 4,00 adet (NAA 3000 ppm) ve 1,00 adet (IAA 5000 ppm) olduğu tespit edilmiştir. Yine IBA 5000 ve IAA 3000 ppm işlemleri ile kontrol çeliklerinde kök oluşmamıştır. Bu ortamdaki genel ortalama kök sayısı değeri de 3,90 adet olarak ortaya çıkmıştır.

### Tartışma ve Sonuç

*Osmanthus decorus* (Boiss. & Balansa) Kasaplıgil türünün vejetatif yolla üretiminde en uygun köklendirme koşullarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı sera ortamları ile oksin grubu fitohormonların köklenme süreci üzerindeki etkileri araştırılmıştır. *O. decorus* türüne ait yumuşak çeliklerin köklenme sürecinin 225 günde tamamlandığı çalışma, iki farklı sera ortamında ve kontrole ek altı farklı fitohormon uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk kök oluşumunun 2 numaralı sera ortamındaki (köklendirme masası sıcaklığı  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) NAA 5000 ppm işleminde köklenme sürecinin yaklaşık üçte biri kadar bir sürede meydana geldiği çalışma sonucundaki en yüksek ortalama köklenme yüzdesi değeri %50,00 ile 1 numaralı sera ortamındaki (köklendirme masası sıcaklığı  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) NAA 5000 ppm işleminde kaydedilmiştir. Kök boyu açısından 15,70 cm ile 1 numaralı sera ortamındaki IAA 5000 ppm işlemi



öne çıkarken, kök sayısı bakımından en yüksek ortalama değer 4,80 adet ile yine aynı sera ortamındaki IBA 5000 ppm işleminde gözlemlenmiştir. Çalışma bulgularına göre, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar köklenme yüzdesi açısından sera ortamları ile işlemler arasında ortaya çıkarken, kök boyu açısından sera ortamları arasında ve sera ortamı × işlem etkileşiminde meydana gelmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında sera ortamı koşulları ile fitohormon uygulamaları köklenme yüzdesi, kök boyu ve kök sayısı üzerinde belirleyici bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Ancak çalışma sonuçları dikkatle incelendiğinde belirtilmesi gereken önemli bir nokta, %10'un altında köklenme yüzdesine sahip işlemlerde elde edilen kök boyu ve kök sayısı değerleridir. 1 numaralı sera ortamındaki IAA 5000 ppm işlemi ile kontrol çelikleri ve 2 numaralı sera ortamındaki IBA 3000, IAA 5000 ve NAA 3000 ppm işlemlerinde ortaya çıkan kök boyu ve kök sayısı değerlerinin çok az sayıdaki çelikle olduğu düşünüldüğünde, bu parametreler için düşük ya da yüksek sonuçların fazla sayıdaki köklü çelikle ortaya çıkması muhtemel ortalama değerlere çok yakın olamayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Surat (2020) tarafından Artvin ilinde doğal olarak yetişen tıbbi-aromatik ve ekonomik değere sahip odunsu bitkilerin peyzaj mimarlığı çalışmalarındaki kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmada, *Osmanthus decorus* türü de incelenmiştir. Çalışmada türün estetik görünümü, meyvesi, yaprakları ve formuyla peyzaj çalışmalarında kullanılmaya uygun bir tür olmasının yanı sıra, tıbbi özellikleriyle de öne çıktığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, bu türün de içinde bulunduğu değerli bitkilerin çok azının kültüre alındığı bildirilmiş olup bu bitkilerin üretimlerinin yapılmamasının, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kullanımı açısından önemli bir eksiklik olduğu ifade edilmiştir. *O. decorus* gibi türlerin kültüre alınarak yaygınlaştırılmasının, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli katkılar sağlayabileceği bildirilmiştir. Her ne kadar *Osmanthus* türlerinin çelikle üretimi üzerine yapılan pek fazla çalışmaya rastlanmamış olsa da Dirr (1990) tarafından *Osmanthus x fortunei* türünün çeliklerinin köklenme potansiyelini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmada, köklenme düzenleyici fitohormonlardan P-ITB (fenil indol-3-tiyolobütirat) ve IBA'nın etkileri incelenmiştir. Çalışmada çelikler, farklı konsantrasyonlardaki fitohormonlarla muamele edilmiş olup, köklenme yüzdesi, kök sayısı ve kök boyu parametreleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, köklenme yüzdesi açısından 0,5% P-ITB ile 0,5% IBA işlemlerinde sırasıyla %43 ve %30'luk ortalama köklenme yüzdesi değerleri ortaya çıkmıştır. Kök sayısı bakımından 0,5% P-ITB işleminde ortalama 4 adet kök elde edilirken, 0,5% IBA işleminde ise ortalama 3 adet kök elde edilmiştir. Kök boyu açısından ise 0,5% P-ITB ile ortalama 8 cm, 0,5% IBA ile ortalama 5 cm'lik kök boyları tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonda (2,0% P-ITB) fitotoksisite belirtisi gözlenmemiş olup, bu konsantrasyondaki ortalama köklenme yüzdesi %47 olarak belirlenmiştir. Buna ilave



olarak, bu işlemdeki ortalama kök boyu 8 cm ve ortalama kök sayısı da 4 adet olarak meydana gelmiştir. Dirr (1990) tarafından yapılan çalışmaya kıyasla, bu çalışma sonucunda fitohormon uygulamaları ile hem köklenme yüzdesi (%50,00), hem kök boyu (15,70 cm) ve hem de kök sayısı (4,80 adet) açısından daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında ölçülen tüm parametreler için elde edilen en yüksek ortalamalar sürekli olarak 1 numaralı sera ortamında oluşmuştur. Buradan hareketle, köklendirme ortamı sıcaklığının  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  ve hava sıcaklığının  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  olduğu 1 numaralı sera ortamının *O. decorus* türünün köklendirilmesi için daha uygun olduğu sonucuna varmak mümkündür. Nitekim çelikle üretim üzerine Güney vd. (2021b) ile Bayraktar vd. (2018a) tarafından yapılan çalışmalarda da köklendirme masası sıcaklığının hava sıcaklığından  $5^{\circ}\text{C}$  fazla olmasının köklenme ve kök morfolojisi üzerine olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Öte yandan, *O. decorus* türünün çelikle üretilmesi üzerine oksin grubu fitohormonlar da kontrole kıyasla önemli bir pay sahibi olarak dikkat çekmiştir. Çeşitli türlerde fitohormon kullanımının çelikle üretimde köklenmeyi teşvik edici etkisinin bulunduğu, birçok araştırma ile kanıtlanmıştır. *Platanus orientalis* türünde (Bilal vd., 2024), *Buxus sempervirens* türünde (Güney vd., 2023), *Acer palmatum* 'Atropurpureum' kültüründe (Bayraktar vd., 2022), *Juniperus communis* 'Hibernica', *J. chinensis* 'Stricta' ve *J. chinensis* 'Stricta Variegata' kültürlerinde (Güney vd., 2021c), *Salix anatolica* türünde (Yıldırım vd., 2020), *Elaeagnus umbellata* türünde (Bayraktar vd., 2018b), *Garcinia kola* türünde (Kouakou vd., 2016) ve *Dalbergia sissoo* türünde (Singh vd., 2012) yapılan çalışmalarda köklenmeyi teşvik eden fitohormon grubu olan oksinlerin köklenme başarısına olumlu etki ettiği belirtilmiştir.

Relikt olmasına ek olarak tıbbi alandaki yeri ve sahip olduğu süs bitkisi niteliği ile ülkemiz için önemli bitki türlerinden biri olan *Osmanthus decorus* türünün yumuşak çelikler kullanılarak çoğaltılmasında, köklendirme masasına alttan ısıtma uygulamasının yapılması ve çeliklerin IBA, IAA ve NAA gibi oksin grubu fitohormonlarla muamele edilmesinin köklenme üzerindeki önemi bu çalışma ile ortaya koyulduğundan, bu tür için yapılacak üretim çalışmaları bahsedilen kıstasların göz önüne alınması tavsiye edilebilir. Daha yüksek köklenme başarısı için yaralama, farklı fitohormon dozları ya da çeşitli sıcaklık düzenlemeleri gibi faktörler sonraki çalışmalar için araştırma konusu olabilecek bir nitelik taşımaktadır.

## Kaynaklar

- Abo El-Enien, H. E., & Omar, M. A. (2018). Effect of some growth substances on rooting and endogenous hormones of *Casimiroa edulis* L. cuttings. *Zagazig Journal of Agriculture Research*, 45(3), 891–904.
- Avcı, Ö. F., Canbolat, D., Kılıç, B., & Demiralay, M. (2024). Artvin ili sınırlarında doğal olarak yetişen *Osmanthus decorus* (Oleaceae) Kasaplıgil türünün antioksidan özelliklerinin değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1), 199–207. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1424554>
- Azad, M. S., & Matin, M. (2015). Effect of Indole-3-Butyric Acid on clonal propagation of *Swietenia macrophylla* through branch cutting. *Journal of Botany*, 1(7), 249308. <https://doi.org/10.1155/2015/249308>
- Azad, M. S., Alam, M., Mollick, A., & Matin, M. (2016). Responses of IBA on rooting, biomass production and survival of branch cuttings of *Santalum album* L., a wild threatened tropical medicinal tree species. *Journal of Science Technology and Environment Informatics*, 3(2), 195–206. <https://doi.org/10.18801/jstei.030216.22>
- Azeredo, F. G., Santos, M. D., Vieira, M. K., Matos, C., & Zuffelatto-Ribas, K. C. (2015). The usage of growth regulator in the rooting of Japanese wisteria tree. *Scientia Agraria Paranaensis*, 14(4), 252–256.
- Bayraktar, A., Yıldırım, N., Atar, F., & Turna, I. (2017). The effects of rooting media and some auxins on propagation by cutting of *Cryptomeria japonica* D. Don ‘Elegans’ (Henk&Hochst.) Mast. *International Forestry and Environment Symposium* (p. 202). Trabzon: November 7–10.
- Bayraktar, A., Atar, F., Yıldırım, N., & Turna, I. (2018a). Effects of different media and hormones on propagation by cuttings of European yew (*Taxus baccata* L.). *Suvarski List*, 142(9-10), 509–516. <https://doi.org/10.31298/sl.142.9-10.6>
- Bayraktar, A., Yıldırım, N., Atar, F., & Turna, İ. (2018b). Effects of some auxins on propagation by hardwood cutting of autumn olive (*Elaeagnus umbellata* Thunb.). *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 5(2), 112–116. <https://doi.org/10.17568/ogmo-ad.401438>
- Bayraktar, A., Güney, D., & Chavoshi, S. H. (2022). Kırmızı yapraklı Japon akçağacının çelikle üretilmesinde farklı sera ortamları ile oksinlerin etkileri. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 84–90. <https://doi.org/10.17568/ogmo-ad.1090286>
- Bilal, M., Khan, P. A., Mir, A. A., Nazir, N., Wani, A. B., Gangoo, S. A., Shah, I. A., & Khateeb, A. (2024). Effect of various concentrations of growth hormone (IBA) and types of cutting sections on rooting and growth of *Platanus orientalis* L. branch cuttings. *Biological Forum – An International Journal*, 16(7), 44–52.
- Blythe, E. K., Sibley, J. L., Tilt, K. M., & Ruter, J. M. (2007). Methods of auxin application in cutting propagation: A review of 70 years of scientific discovery and

- commercial practice. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(3), 166–185. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-25.3.166>
- Cordeiro, I. M., Lameira, O. A., Oliveira, F. D. A., & Wendling, I. (2016). Rooting of juvenile cuttings of *Bertholletia excelsa* under different concentrations of indolebutyric acid. *Agrociencia*, 50(2), 227–238.
- Dirr, M. A. (1990). Effects of P-ITB and IBA on the rooting response of 19 landscape taxa. *Journal of Environmental Horticulture*, 8(2), 83–85.
- Eminağaoğlu, Ö. (2014). *Osmanthus* Lour. Ü. Akkemik (Ed.), *Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çaluları II* (ss. 180–182). Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Erşen Bak, F., & Çıfci, K. (2020). Artvin'in merkez köylerinde bazı tıbbi bitkilerin yöresel kullanımları. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 318–329.
- Fachinello, J. C., Hoffmann, A., & Nachtigal, J. C. (2005). *Propagação de plantas frutíferas* (p. 133). Brasília: EMBRAPA.
- Fogaca, C. M., & Fett-Neto, A. G. (2005). Role of auxin and its modulators in the adventitious rooting of *Eucalyptus* species differing in recalcitrance. *Plant Growth Regulation*, 45, 1–10.
- Gülgün, B., Türkyılmaz, B., Yıldırım, T., & Güney, A. (2003). Ekonomik öneme sahip bazı sarılıcı süs bitkilerinden *Passiflora caerulea*, *Plumbago capensis*, *Wisteria chinensis* çeliklerinin farklı dikim zamanlarının köklenme oranlarına etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1), 141–148.
- Güney, D., Chavoshi, S. H., & Bayraktar, A. (2016). *Magnolia liliiflora* türünün çelik ile köklendirilmesi üzerine farklı sera ortamı ve hormonların etkisi. VI. Süs Bitkileri Kongresi, Tam Metin Bildiriler Kitabı (s. 57–62). Antalya: 19–22 Nisan.
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Turna, İ. (2021a). Açelya (*Azalea* sp.) çeliklerinin köklendirilmesi üzerine farklı fitohormonların etkileri. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8(1), 80–87. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.796508>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Turna, İ. (2021b). The effects of different factors on propagation by hardwood cuttings of some coniferous ornamental plants. *Šumarski List*, 145(9–10), 467–477. <https://doi.org/10.31298/sl.145.9-10.5>
- Güney, D., Chavoshi, S. H., Bayraktar, A., & Atar, F. (2021c). The effects of temperature and exogenous auxin on cutting propagation of some junipers. *Dendrobiology*, 86, 29–38. <https://doi.org/10.12657/denbio.086.004>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., Chavoshi, S. H., & Turna, İ. (2023). The effects of different rooting temperatures and phytohormones on the propagation of boxwood cuttings. *Baltic Forestry*, 29(1), Article id593. <https://doi.org/10.46490/BF593>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Jr., & Geneve, R. L. (2018). *Plant propagation: Principles and practices* (9th ed., p. 880). New Delhi: Prentice Hall of India Pvt. Ltd.

- Ibironke, O. A. (2017). Response of selected ornamentals to rooting hormone in different propagating media. *Journal of Botany Research*, 1(1), 22–28. <https://doi.org/10.36959/771/55>
- Kayacık, H. (1982). *Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği (Angiospermae)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları (321 s.).
- Kouakou, K. L., Dao, J. P., Kouassi, K. I., Beugré, M. M., Koné, M., Baudoin, J.-P., & Zoro Bi, I. A. (2016). Propagation of *Garcinia kola* (Heckel) by stem and root cuttings. *Silva Fennica*, 50(4), Article id1588. <https://doi.org/10.14214/sf.1588>
- Kyrkas, D., Mantzos, N., Patakioutas, G., Lampraki, E., Filis, E., Dimitrakopoulos, P. G., Echevarria, G., & Konstantinou, M. (2024). Cutting propagation of *Bornmuellera tymphaea*, a nickel hyperaccumulator for use in agromining: Effects of rooting media and auxins on stem cuttings. *Ecological Research*, 39, 471–478. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12459>
- Leyser, O. (2018). Auxin signaling. *Plant Physiology*, 176(1), 465–479. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00765>
- Nowakowska, K., & Pacholczak, A. (2015). The effect of auxins on the rooting of cuttings in several species of Fabaceae. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Horticulture and Landscape Architecture*, 36, 13–20.
- Pizarro, A., & Diaz-Sala, C. (2019). Cellular dynamics during maturation-related decline of adventitious root formation in forest tree species. *Physiologia Plantarum*, 165(1), 73–80. <https://doi.org/10.1111/ppl.12768>
- Sauer, M., Robert, S., & Kleine-Vehn, J. (2013). Auxin: Simply complicated. *Journal of Experimental Botany*, 64(9), 2565–2577. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert139>
- Singh, B., & Rawat, J. M. S. (2017). Effects of cutting type and hormonal concentration on vegetative propagation of *Zanthoxylum armatum* DC., Prodr. in Garhwal Himalaya, India. *Journal of Forestry Research*, 28(2), 419–423. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0286-2>
- Singh, B., Yadav, R., & Bhatt, B. P. (2012). Vegetative propagation of *Dalbergia sissoo*: Effect of growth regulators, length, position of shoot and type of cuttings on rooting potential in stem cuttings. *Forestry Studies in China*, 14, 187–192.
- Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 170(2), 603–617. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>
- Surat, H. (2020). Artvin’de doğal olarak yetişen bazı tıbbi-aromatik ve ekonomik değere sahip odunsu bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanım alanlarının değerlendirilmesi. *The Journal of International Social Research*, 13(74), 240–248.
- Şimşek, Y. (1993). *Orman ağaçlarının ıslahına giriş (s. 312)*. Ormancilık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- WFO (2024). World Flora Online. Accessed December 20, 2024, from <http://www.worldfloraonline.org/>
- Yaltırık, F. (1978). *Osmanthus Lour*. In: Davis, P. H. (Ed.), *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vol. 6, pp. 156–157). Edinburgh: Edinburgh University Press.

Yıldırım, N., Bayraktar, A., Atar, F., Güney, D., Öztürk, M., & Turna, İ. (2020). Effects of different genders and hormones on stem cuttings of *Salix anatolica*. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(3), 300–308. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1638274>