

Orman ağaçlarında bitki özsu akış ölçüm yöntemleriyle transpirasyonun belirlenmesi ve havza yönetimi çalışmaları için önemi

Mehmet S. Özçelik^{a,*}, Kamil Şengönül^a, Ferhat Gökbulak^a

Özet: Bir havzadan devamlı olarak en yüksek verim ve kalitede su üretmek havza yönetimi çalışmalarının amaçlarından biridir. Bu amacı yerine getirebilmek için havzaların su bütçesi oluşturulmakta ve bu bütçenin maksimizasyonu amacıyla havza yönetimi çalışmaları yapılmaktadır. Bitkilerin terleme yoluyla atmosfere verdikleri su miktarı, su bütçesi denkleminde önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde transpirasyonun ölçülmesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, “bitki özsu akış” (sap flow) ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalara rastlanılmamaktadır. Bu çalışmada orman ağaçlarında bitki özsu akış ölçüm yöntemleriyle transpirasyonun ölçülmesi ve bu ölçümler için kullanılan metotlardan “gövde ısı dengesi” (trunk heat balance) yöntemi hakkında bilgi verilmiş; transpirasyon ölçümlerinin havza yönetimi çalışmaları için önemi ve “bitki özsu akış” ölçüm yönteminin havza ile ilgili araştırmalarda kullanım olanakları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitki özsu akış ölçümleri, Gövde ısı dengesi, Transpirasyon, Havza yönetimi, Vejetasyon yönetimi

Sap flow measurement methods for determining transpiration of forest trees and its importance for watershed management

Abstract: One of the primary goal of the watershed management is to maximize water yield with maximum quality in the fresh water producing. In order to fulfill this objective, some watershed management practices have been conducted. Amount of water consumption by trees and its precisely determination is important in terms of water balance equation in the watersheds. Measurement of tree transpiration by sap flow method has not been carried out so far in Turkey. Therefore, objectives of this study are to provide detailed information about measurement of transpiration by sap flow method, explain its superiorities compared to other methods and discuss its importance in watershed management concept.

Keywords: Sap flow, Transpiration, Trunk heat balance, Watershed management, Vegetation management

1. Giriş

Havza yönetimi; bir yağış havzasında erozyonu ve taşkınları kontrol altına almak, en yüksek miktar ve kalitede su üretmek için saptanmış temel amaçlara uygun biçimde sosyo-ekonomik koşullarla birlikte estetik değerleri de dikkate alarak doğal kaynakların düzenlenmesi ve idaresi olarak tanımlanmaktadır (Balcı ve Özyuvacı, 1974). Özhan (2004)'e göre ise “bir havzada sürdürülebilir bir kullanımın sağlanabilmesi için yenilenebilir doğal kaynakların planlanması ve yönetimin temelini havza hidrolojisinin anlaşılması” oluşturmaktadır. Havza hidrolojisinin elemanlarına bakıldığında; yağışların, toprakta depolanan suyun ve taban suyundan kapillar yükselmenin gelirler olarak; intersepsiyon, transpirasyon, evaporasyon, yüzeysel akış, yüzey altı akış, ve derin sızıntı suyunun ise giderler olarak sıralandığı görülmektedir (Çepel, 1993). Dolayısıyla transpirasyon; havza hidrolojisinin giderler kısmında yer almakta ve denklemde önemli bir yer tutmaktadır.

Bitkilerin transpirasyon yoluyla kaybettikleri su miktarını anlamak için havza su bütçesi yöntemleri, lizimetre yöntemi, çadır yöntemi, transpirometre yöntemi, çabuk tartım yöntemi, gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir

(Özhan, 1982). Elektroniğin ve termodinamiğin gelişmesi, güç kaynaklarının ve veri kaydedicilerin küçülmesi ile birlikte bitki özsu akış (sap flow) ölçümleri de transpirasyonun belirlenmesi amacıyla kullanılır hale gelmiştir. Her yöntemin avantajlı ve dezavantajlı yanları bulunmaktadır. Bitki özsu akış ölçümü yöntemlerinin diğer yöntemlere göre avantajları kısaca; arazide uygulanan yöntemlere kıyasla, basit ve kolay kurulması, uzun süreli veri sağlanması, hem birey bazında, hem meşcere bazında çalışmaya imkan sağlanması, arazinin heterojen yapısından etkilenmemesi, kısa sürede sonuç alınması ve ölçüme dayalı güvenilir sonuçlar vermesi olarak sıralanabilir. En önemli avantajı ise diğer yöntemler gibi laboratuvar da ya da arazide sınırlı-belirli koşullar altında değil, doğrudan ekosistemin içinde ölçüm yapılabilmesi; dolayısıyla temsil oranının yüksek olmasıdır. Dezavantajları ise, arazide korunmasının zor olması ve laboratuvar yöntemlerine göre pahalı olması olarak sıralanabilir.

Bitki özsu akış ölçüm çalışmaları Huber'in geçtiğimiz yüzyıldaki öncü çalışmasını takip ederek gelişmiştir (Cermak vd., 2004). Farklı prensiplere dayanan (termodinamik, elektrik, nükleer manyetik rezonans) bitki özsu akış ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan

✉ ^a İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Havza Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): msaid.ozcelik@istanbul.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 16.02.2016, **Accepted** (Kabul tarihi): 01.03.2016

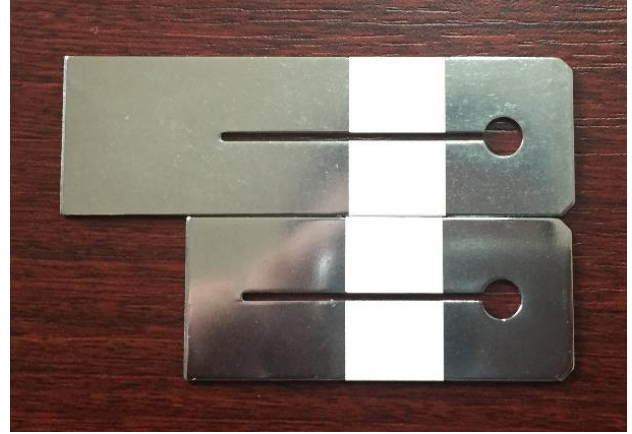


başlıcaları gövde ısı dengesi (trunk segment heat balance) yöntemi (Cermak vd., 1973, 1982; Kucera vd., 1977); gövde ısı denge (stem heat balance) yöntemi (Sakuratani 1981,1984); ısı dağılım (heat dissipation) yöntemi (Grainer, 1987); ısı alan bozunum (heat field deformation) (Nadezhdina, 2012) yöntemleri olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin arasından termodinamik esasına dayananlar arazi çalışmalarında kendine geniş yer bulmuştur (Cermak vd., 2004). Bitki özsuyu akış yöntemi diğer arazide uygulanan transpirasyon ölçüm yöntemleriyle karşılaştırıldığında ise; “eddy covariance” metodu ile farklılıklar olmasına rağmen yakın sonuçlar verdiği ($r^2=0,80$) (Wilson vd., 2001) ve havza su bütçesi yöntemiyle sonuçlarının büyük oranda benzeştiği (Breda vd., 1992); günlük total transpirasyonda mikrometeorolojik ölçümlere benzer sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Saugier vd., 1997).

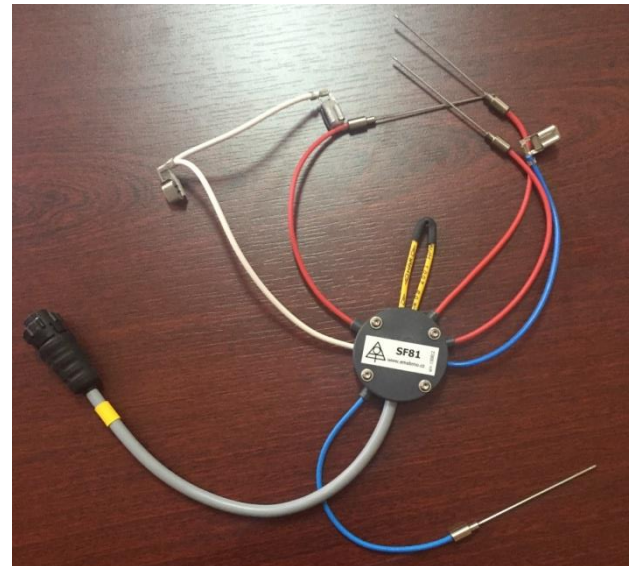
Ülkemizde transpirasyon ölçümleri ile ilgili literatür incelendiğinde, bitki özsuyu akış yöntemleri ile ilgili çalışmalara rastlanılmamaktadır. Bitki özsuyu akış ölçüm aletlerinin ülkemiz koşullarında arazide korunmalarının zor olması ve pahalı olmaları bu durumun nedenleri arasında gösterilebilir. Ancak bitki özsuyu akış ölçüm yöntemlerinin kullanılmasının transpirasyon ölçümü çalışmalarını kolaylaştıracağı ve ülkemizde farklı amaçlarla yapılacak çalışmalara altlık olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada bitki özsuyu akış ölçüm yöntemleri içerisinde uygun maliyetli olup, yoğun şekilde kullanılanlardan birinin ülkemiz bilim adamlarına detaylı olarak tanıtılması ve bitki özsuyu ölçüm yöntemi kullanılarak yapılmış çalışmalardan örnekler vererek bu yöntemin havza yönetimi çalışmaları için kullanım olanaklarının tartışılması amaçlanmıştır. Çalışmanın konusu olan gövde ısı dengesi yöntemi, 1974'ten bu yana çok sayıda çalışmada kullanılmış olmasıyla da öne çıkmaktadır (Cermak vd., 1995; Lindroth vd., 1995; Jimenez vd., 1996; Martin vd., 1997; Cienciala vd., 1999; 2000, Cienciala vd., 2002; Lagergren vd., 2008).

2. Gövde ısı dengesi yöntemi

Gövde ısı dengesi yöntemi, Cermak tarafından 1970'li yılların başında geliştirilmiştir (Cermak vd., 1973, Kucera vd., 1977). Bu yöntemde, ağaç gövdesinin bir kesiti elektrotlar vasıtasıyla elektrik akımı verilerek ısıtılmaktadır. Isı ksilem dokusunda homojen bir şekilde dağılmakta ve kabuğun dışına taşmamaktadır. Enerji (doğrudan bitki özsuyu akışı ile orantılı) ya da sıcaklık farkı (dolaylı olarak bitki özsuyu ile orantılı) elektronik devreler yardımı ile sabit tutularak diğer değişkenler kaydedilmektedir. Sistemin uygulanacağı ağacın gövdesine 4 adet elektrot (Şekil 1 ve 3) yerleştirilmektedir. Bu elektrotların üçü birbirine paralel ve aynı seviyede olup, dördüncü elektrot diğerlerinden 10 cm aşağıda ve merkezde olacak şekilde konumlandırılmaktadır. Her elektrotun içine üç adet ısı ölçer içeren iğne şeklinde mini problar (Şekil 2) yerleştirilmektedir. Birbirine paralel olan üç elektrota elektrik enerjisi verilerek ısınmaları sağlanmakta ve elektrik verilen elektrotlar ısının ağaç gövdesinden dışarı çıkmaması için yalıtkan bantla çevrelenmektedir. Elektrotlar, tam diri odun derinliğinde yerleştirildiğinden farklı ağaç türleri için değişik uzunluklarda elektrotlar kullanılmaktadır.



Şekil 1. Karaçam ve meşe için kullanılan farklı uzunluklardaki elektrotlar (Foto: M.S. Özçelik)



Şekil 2. Ağaç gövdesindeki ısının ölçümünde kullanılan iğne şeklindeki mini problar. (Her bir iğnede üç adet termometre bulunmaktadır.) (Foto: M.S. Özçelik)



Şekil 3. Gövde ısı dengesi yöntemine göre ölçüm yapan elektrot-termosensör kiti (Foto: M.S. Özçelik)

Metodun çalışma prensibi; köklerle topraktan alarak yapraklara iletilen bitki özsuununun, ısıtılan bu alandan geçerken soğumaya yol açmasıyla bu kesitteki değişikliklerin izlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem ısıtılan belirli bir noktadaki ısı dengesini hesaplamaktadır. Temel olarak, giren enerji geçen suyun ısınması ve dokulardaki ısı kayıpları arasında aşağıdaki denkleme göre ikiye ayrılmaktadır:

$$P = QdT_{c_w} + dT\lambda$$

Denklemden, P ısıtma için giren enerjiyi (W), Q sap flow miktarını (kg s^{-1}) dT ölçüm noktasındaki sıcaklık farkını (K), c_w suyun özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) ve λ ölçüm noktasındaki ısı kaybı katsayısını (W K^{-1}) temsil etmektedir. (Cermak vd., 2004). Elektrotlar tarafından meydana getirilen ısının büyük çoğunluğu su akışı ile birlikte yok olmaktadır, ancak %10-20'lik bir kısmı da ölçüm noktasının etrafındaki dokuların ısıtılmasında kaybolmaktadır. Dokuların ısıtılmasında kaybedilen ısının bitki özsuu akışı ile kaybedilen ısıdan ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle bitkide su akışının olmadığı varsayılan bir zamanda (örneğin uzun süreli yağmurlardan sonra sabah erken saatlerde) meydana gelen ısı kaybı suni akış (A_s) olarak nitelendirilmekte ve devamlı kaydedilmektedir. Suni akış sırasında bitki gövdesinde akış olmadığından, mini probalar arasındaki sıcaklık farkı da sabit güç altında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır, bu da suni akışın bir göstergesidir. Gerçek bitki özsuu akış değeri toplam akış miktarından suni akışın çıkarılmasıyla ($A_g = A_r - A_s$) bulunmaktadır. Dış etmenlerden meydana gelecek etkileri elimine etmek ve ölçüm noktasının etrafındaki dokuların ısıtılmasının (λ) büyük oranda önüne geçmek için ölçüm noktası poliüretan köpük ile sarılmakta ve özellikle direk güneş ışığından korunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Sensörlerin dış şartlardan etkilenmesini ve içeriden ısı kaybını engelleyen poliüretan köpük ile örnek ağacın izolasyonu (Foto: M.S. Özçelik)

2.1. Örnek ağaçların toplam dağılımı (quantiles of total) yöntemiyle belirlenmesi

Bitki özsuu akış ölçümleri hem tek ağacın transpirasyon ölçümlerini yapmak; hem de bir meşcerenin toplam transpirasyon miktarını hesaplamak amacıyla kullanılabilir. Ölçümler meşcere bazında yapılmak istendiğinde örnek ağaçların belirlenmesi önemli bir adım oluşturmaktadır. Seçilecek örnek ağaçların meşcere özelliklerini temsil etmesi gerekmektedir. Meşcere bazında yapılacak bitki özsuu ölçüm çalışmalarında örnek ağaçların belirlenmesi için toplamın dağılımı yöntemi önerilmektedir (Cermak vd., 2004). Bu yöntem her biri seçilen biyometrik parametreyi (örneğin gövde çapı) aynı oranda temsil eden bir dizi örnek ağacın dağılımını hesaplamaktadır. Gövde çapı örnek parametre olarak seçilirse yöntemin işleyişi şu şekilde olmaktadır;

Öncelikle alanda bulunan tüm ağaçların çapları (C_a) ölçülerek her bir ağacın göğüs yüzeyi ($C_a/2$)² x π formülü ile hesaplanmaktadır. Ağaçlar göğüs yüzeyine göre küçükten büyüğe sıralandıktan sonra meşcerenin toplam göğüs yüzeyi ($A_{meş}$) bulunmaktadır. Toplam göğüs yüzeyi alanda ölçüm yapılacak ağaç sayısına (k) bölünmektedir ($A_{meş}/k$). Böylece meşcerenin toplam göğüs yüzeyi fraksiyonlara (A_{ort}) ayrılmış olmaktadır. Bu fraksiyonların ortalamasını (A_{ort}) almak için, örnek ağaç sayısının (k) 0,5 katıyla (0,5, 1,5,....k-0,5) çarpılmaktadır. Ortaya çıkan değerlere en yakın göğüs yüzeyine sahip ağaç kümülatif göğüs hacmi tablosundan örnek ağaç olarak seçilmektedir. Örnek olarak; Atatürk Arboretumu'nda bulunan ve alanı 800 m² olan Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) parselinde 12 adet örnek ağaç belirlenerek ilk ikisi çizelgede verilmiştir (Çizelge 1). Parselde göğüs yüksekliğindeki (1.30 m) çapları 12-44,5 cm arasında olan 85 birey bulunmaktadır. Meşcerenin toplam göğüs yüzeyi ($A_{meş}$) 54,82 m²'dir. Toplam göğüs yüzeyi örnek ağaç sayısına bölünerek (54,82/12) A_{ort} 4,56 bulunmuştur. Bulunan değer 0,5 katı alınarak (4,56 x 0,5) 2,28 değeri elde edilmiş ve kümülatif toplamsütunundan bu değere en yakın olan 2,30 değerine sahip 81 numaralı ağaç 1. örnek ağaç olarak belirlenmiştir. İkinci örnek ağaç için ise A_{ort} değerinin 1,5 (4,56 x 1,5) katı alınmış ve 6,92 ile elde edilen 6,82 değerine en yakın değere sahip olan 56 numaralı ağaç 2. örnek ağaç olarak belirlenmiştir. Bu işlem diğer örnek ağaçlar için k-0,5 kadar devam etmiştir.

3. Bitki özsuu akış ölçüm yöntemlerinin havza yönetimi çalışmalarında kullanım olanakları

Bitki özsuu akışı ile transpirasyon ölçümleri; tarımsal sulama amacıyla bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesinden, ağaçlandırma amacıyla farklı bitki türlerinin kuraklığa ve diğer iklimik faktörlere tepkilerinin anlaşılmasına kadar değişik amaçlara yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmaların ülkemiz için önemli görülenlerinden bazıları, havza yönetimi çalışmalarında bitki özsuu akış ölçümlerine örnek olması amacıyla derlenerek sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Su üretim havzası; girdisi yağış, çıktısı akış olan bir fabrikaya benzetilebilir. Bir havzadaki akış topoğrafik koşullar, iklim ve vejetasyon etkilemektedir. Havzanın iklimi ve topoğrafyasını değiştirmek hemen hemen imkansızken vejetasyon yönetimi ile su verimi ve suyun

kalitesi bir dereceye kadar değiştirilebilir. Vegetasyon yönetimiyle su kayıplarının azaltılması ve bu amaca yönelik silvikültürel uygulamaların yapılabilmesi için bitkilerin transpirasyon miktarının bilinmesi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde baraj havzalarında yapraklı türlerin kullanımının tavsiye edilmesi vegetasyon yönetimi çalışmalarına örnek gösterilebilir (Çepel, 1986; Özhan, 2004). Bu durum; su verimi maksimizasyonu amaçlanan baraj havzalarında, ağaç türü seçimini havza planlamanın araçlarından biri haline getirmektedir.

Çeşitli ağaç türlerinin maksimum günlük ve farklı meşcere tiplerinin yıllık transpirasyon miktarları verilmiştir (Çizelge 2). ABD’ de yapılan çalışmada, aynı koşullar altında yetişen türlerin günlük maksimum transpirasyon miktarlarının değişkenlik gösterdiği (46-153 kg), sahada en çok bireyi bulunan türün en çok transpirasyonla su kaybını meydana getirmedeği, diri odun alanı/meşcere göğüs yüzeyi oranı en yüksek olan türün meşcere transpirasyonunda daha büyük role sahip olduğu, örneğin; alanın göğüs yüzeyi olarak %27’sini kaplayan *Q. prinus* L.’nin toplam transpirasyonun %16’sını gerçekleştirmiş olduğu saptanmıştır (Wullschleger vd., 2001).

Poyatos vd. (2005) ise yapraklı (*Quercus pubescens* Willd) ve ibrelili (*Pinus sylvestris* L.) türlerin yıllık transpirasyonla atmosfere verdikleri su miktarını karşılaştırmış ve kışın yaprağını dökmeyen ibrelili türün,

yapraklı türden daha fazla transpirasyonla su kaybı meydana getirdiğini tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada *P. sylvestris*’in kuraklık stresine karşı daha hassas bir tür olduğu da belirtilmiştir. Jimenez vd. (1996)’da; yıllık ortalama yağışın büyük bir kısmının (736 mm/636mm) *Laurus azorica* meşceresi tarafından transpirasyonla atmosfere geri verildiğini ortaya koymuşlardır. Schiller vd. (2003; 2007); yarı kurak özellik gösteren bir sahada; *Q. calliprinos* meşceresinden yıllık ortalama yağışın %41’inin transpirasyonla kaybedildiğini ve yağış azaldıkça, transpirasyonun su bütçesindeki oranının arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmalardan farklı ağaç türlerinin aynı yetişme koşullarında farklı transpirasyon miktarları gerçekleştirebildikleri, su noksanlığına ve kuraklık stresine karşı farklı tepkiler geliştirdikleri, yıllık ortalama yağışın büyük bir bölümünü, bazen daha fazlasını transpirasyonla atmosfere geri verebildikleri sonuçları ortaya çıkmıştır. Bu durum baraj havzalarında seçilecek ağaç türlerinin transpirasyonla su kayıplarının bilinmesinin su verimi maksimizasyonu için önemli olduğunu göstermektedir. Buradan yola çıkarak, baraj havzalarında yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında daha az transpirasyonla su kaybı meydana getiren türler değerlendirilmeli, yapılacak silvikültürel çalışmalarda transpirasyon miktarı fazla türlerin öncelikle sahadan çıkarılması düşünülmelidir.

Çizelge 1. Belgrad Ormanı Atatürk Arboretumu’nda örnek ağaçların toplamın dağılımı- “quantiles of total” yöntemine göre belirlenmesi

Meşcere Özellikleri Tablosu		Yer : Atatürk Arboretumu		Alanı: 800 m ²		Tür: <i>Pinus nigra</i> Arn. subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe.	
Ağaç No	Çap (1.30) cm	Göğüs yüzeyi (πr^2)		m ² /ha	Kümülatif toplam	Örnek Ağaçlar	
		cm ²	m ²				
50	12	113,04	0,01	0,14	0,14		
59	12,5	122,66	0,01	0,15	0,29		
15	13	132,67	0,01	0,17	0,46		
64	13	132,67	0,01	0,17	0,63		
25	13,5	143,07	0,01	0,18	0,81		
77	13,5	143,07	0,01	0,18	0,98		
30	14,5	165,05	0,02	0,21	1,19		
74	14,5	165,05	0,02	0,21	1,40		
80	14,5	165,05	0,02	0,21	1,60		
76	15	176,63	0,02	0,22	1,82		
71	15,5	188,60	0,02	0,24	2,06		
81	15,5	188,60	0,02	0,24	2,30	1	
27	16	200,96	0,02	0,25	2,55		
49	16	200,96	0,02	0,25	2,80		
55	16	200,96	0,02	0,25	3,05		
72	16	200,96	0,02	0,25	3,30		
46	17,5	240,41	0,02	0,30	3,60		
58	18	254,34	0,03	0,32	3,92		
51	18,5	268,67	0,03	0,34	4,25		
82	19	283,39	0,03	0,35	4,61		
9	19,5	298,50	0,03	0,37	4,98		
70	19,5	298,50	0,03	0,37	5,35		
11	20	314,00	0,03	0,39	5,75		
16	20	314,00	0,03	0,39	6,14		
35	20	314,00	0,03	0,39	6,53		
56	20	314,00	0,03	0,39	6,92	2	
75	20	314,00	0,03	0,39	7,32		

Çizelge 2. Çeşitli ağaç türlerinin günlük maksimum transpirasyon miktarları ile meşcerelerin yıllık toplam transpirasyon miktarları

Ağaç türü	Meşcere/Ağaç özelliği	Günlük maksimum transpirasyon miktarı (kg)	Meşcerenin toplam transpirasyon miktarı (mm)	Ortalama yağış (mm)	Çalışmanın yapıldığı yer	Kaynak
<i>Quercus alba</i> L.	52,6 cm çap, 31 m boy	71				
<i>Q. rubra</i> L.	41,8 cm çap, 31 m boy	46				
<i>Nyssa sylvatica</i> Marsh	28,1 cm çap, 26 m boy	82	221	1340	Tennessee - Amerika Birleşik Devletleri	Wullschleger vd., (2001)
<i>Acer rubrum</i> L.	35,2 cm çap, 27 m boy	153				
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	35,1 cm çap, 26 m boy	63				
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	-	130	180-280	636	Çek Cumhuriyeti	Cermak ve Kucera, (1987)
<i>Q. pubescens</i> Willd.	-	-	110	924	İspanya	Poyatos vd., (2005)
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	239			
<i>Laurus azorica</i> (Seub.) Franco.	1784 (dm ³ m ²) göğüs yüzeyi; 7,8 LAI*	91,7	636	756	Kanarya Adaları	Jimenez vd., (1996)
<i>Q. calliprinos</i> Webb.	Baltalık işletmesi, ortalama 4m boy, 36,2 cm çap	28,1	234-358	541	İsrail	Schiller vd., (2003; 2007)
<i>Q. robur</i> L.	100 yaşında, 33m boy, taban suyu limitsiz, su basar orman	400	39000**	-	Çek Cumhuriyeti	Cermak vd., (1982)
<i>Eucalyptus regnans</i> FJ Muell.	39,5-89,3 cm çap,	323	95 (50 günlük veri)	1660	Avustralya	Vertessy vd., (1997)
<i>Abies amabilis</i> (Dougl. ex Loud.) Dougl. ex J. Forbes	43 yaşında, 16,9-40,1 cm çap,	98	47,6 (28 günlük veri)	-	Washington - Amerika Birleşik Devletleri	Martin vd., (1997)
<i>Pinus sylvestris</i> L.	70 yaşında, ortalama 12,1 cm çap, ortalama 12 m boy	25	107	600	İsveç	Cienciala vd., (2000)

* Yaprak alan indeksi, ** Meşceredeki tek bir meşe ağacının yıllık toplam transpirasyon miktarı

Havza yönetimi çalışmalarında araştırılan konulardan biri de; üretim çalışmalarının ve silvikültürel müdahalelerin havza hidrolojisine etkisi olmuştur. Ormanda yapılan kesim çalışmalarının deredeki su verimine etkisi ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve genel olarak %20'den daha az yapılan kesimin su verimine etkisinin olmadığı; bu değerden sonra yapılacak her %10'luk kesimin ibrelili türlerin olduğu alanlarda 40 mm, yapraklı türlerin olduğu alanlarda 25 mm ve çayırılık-fundalık alanlarda 10 mm derede artış sağlayacağı belirtilmiştir (Bosch ve Hewlett, 1982; Brown, 1973; Stednick, 1996; Ide vd., 2013). Ancak yapılan aralama ve kesim çalışmalarının transpirasyon miktarına etkisi de havza hidrolojisi açısından büyük önem arz etmektedir. Lagergren vd. (2008) İsveç'te gövde ısı dengesi yöntemiyle yaptıkları çalışmada ormanda yapılan %24 aralamanın ardından, meşcerenin toplam transpirasyon miktarında %20 kadar artış olduğunu belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise; Filistin Meşesinin (*Q. calliprinos* Webb) oluşturduğu makilik alanda 240 bireyden yalnızca 47'si bırakılacak şekilde kesim yapılmış ve sonucunda bireylerin kullandığı su miktarı artarken, meşcerenin toplam transpirasyon miktarının düştüğü ve kalan bireylerde artım miktarının yükseldiği gözlenmiştir (Schiller vd., 2003).

Ülkemizde endüstrinin ihtiyacı olan odun hammaddesine talebi karşılamak için hızlı gelişen türlerle endüstriyel ve değer ağacı plantasyonları yapılmaktadır (Birler, 2009). Yetiştirilmesi düşünülen türlerin su ihtiyacının bilinmesi özellikle bu türlerin yetiştirileceği yerlerin seçiminde yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. İsveç'te enerji elde etme amacıyla ve

baltalık işletmeciliğiyle yetiştirilen *Salix viminalis* L. ve *S. dasyclados* Wimm türlerinde, 30 mm çapındaki fertlerin günde yaklaşık 2 kg su tükettikleri, bu rakamın toplamda bir ormanda meydana gelen transpirasyona yakın olduğu belirtilmiş ve bitki özsu akışı ölçüm yöntemlerinin endüstriyel plantasyonlarda yer belirleme amacıyla kullanılması önerilmiştir (Lindroth vd., 1995).

Türkiye yarı kuraktan nemliye kadar farklı iklim tiplerine, deniz seviyesinden alpin zona kadar da farklı yükselti başmaklarına sahiptir. Bu durum biyolojik çeşitliliğin çok zengin olmasına yol açmaktadır. Ülkemizin bitki türü zenginliğine bakıldığında, 3000'i endemik olmak üzere yaklaşık 9000 bitki türünün ülkemiz sınırları içerisinde var olduğu belirtilmektedir (Ekim vd., 2000). Bitki özsu akışı ölçümleri farklı ekolojik koşullar altında da yapılabilmektedir. Sulak alanlarda ve su basar ormanlarda yapılan çalışmalar bu duruma örnek gösterilebilir.

Su basar ormanlar; yılın belirli aylarında taban suyunun yükselmesi neticesinde belirli bir vejetasyon yapısına sahip ekosistem olarak tanımlanmakta ve ülkemizde yaklaşık 9586 ha alan kapladıkları belirtilmektedir (Efe ve Alptekin, 1989). Su basar ormanların işlevlerinin ayrıntıları konusundaki çalışmaların yetersizliği bildirilmekte (Çiçek, 2004), su basar ormanların hidrolojisi ile ilgili ise çok az bilgiye ulaşılmaktadır. Cermak ve Prax (2009)'da yaptıkları çalışmalarında toprakta sınırsız su tabakası olduğunda; ağaçların transpirasyon miktarının potansiyel evapotranspirasyonun %80'inden daha fazlasını temsil ettiği, transpirasyon için topraktan alınan suyun

yaklaşık %70'inin taban suyundan, kalanının ise yağıştan karşılandığını belirtmişlerdir. Yine kökler için suyun limitsiz olduğu su basar ormanda yapılan bir çalışmada, 100 yaşında 33 metre yüksekliğindeki bir Saplı Meşe'nin (*Q. robur* L.) günde 400 kg ya da vejetasyon periyodu boyunca 39 ton su tüketebileceği ortaya konulmuştur (Cermak vd., 1982).

Sonuç olarak; transpirasyonun ölçülmesinin havza yönetimi çalışmaları için önemli olduğu ve bitki özsuyu akış ölçüm yöntemlerinin;

- Baraj havzalarında yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak türlerin belirlenmesi amacıyla,
- Tıraşlama kesimi, bölmeden çıkarma çalışmalarında ve diğer silvikültürel uygulamalarda yapılacak işlemlerin hidrolojik etkisinin anlaşılması amacıyla;
- Endüstriyel plantasyonlarda yetiştirilecek türlerin su ihtiyacının bilinmesi ve uygun alanların tespit edilmesi amacıyla;
- Kuraklığa dayanıklı türlerin belirlenmesi ve ağaç türlerinin kuraklık stresine gösterdikleri reaksiyonların anlaşılması amacıyla;
- Su basar ormanların ve diğer nadir ekosistemlerin hidrolojilerinin anlaşılması amacıyla kullanılabilecekleri, bu farklılıkların ortaya konulmasında diğer yöntemlere göre avantaj sağladıkları ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Balcı, A.N., Özyuvacı, N., 1974. Present status of education, training research and prospect in watershed management in Turkey. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 24(2): 108-125.
- Birler, A.S., 2009. Endüstriyel Orman Ağaçlandırmaları. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 4. İstanbul.
- Bosch, J.M., Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of Hydrology, 55: 3-23.
- Brown, G.W., 1973. The Impact of Timber Harvest on Soil and Water Resources. Oregon State University Extension Service, Bulletin 827. U.S.A.
- Breda, N., Cochard, C., Dreyer, E., Granier, A., 1992. Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*): seasonal evolution and effects of a severe drought. Canadian Journal of Forest Research, 23: 1136-1143.
- Cermak, J., Deml, M., Penka, M., 1973. A new method of sap flow rate determination in trees. Biologia Plantarum, 15 (3): 171-178.
- Cermak, J., Ukehl, J., Kucera, J., Penka, M., 1982. Sap flow rate and transpiration dynamics in the full-grown oak (*Quercus robur* L.) in the floodplain forest exposed to seasonal floods as related to potential evapotranspiration and tree dimensions. Ecologia Plantarum, 24(6): 446-460.
- Cermak, J., Kucera, J., 1987. Transpiration of mature stands of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as estimated by the tree-trunk heat balance method. Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987, Vancouver, Canada pp. 311-317.
- Cermak, J., Cienciala, E., Kucera, J., Lindroth, A., Bednarova, E., 1995. Individual variation of sap-flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: A pilot study at the central NOPEX site. Journal of Hydrology, 168: 17-27.
- Cermak, J., Kucera, J., Nadezhdina, N., 2004. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. Trees, 18: 529-546.
- Cermak, J., Prax, A., 2009. Transpiration and soil water supply in floodplain forests. Ecologia, 28 (3): 248-254.
- Cienciala, E., Kucera, J., Lindroth, A., 1999. Long-term measurements of stand water uptake in Swedish boreal forest. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 547-554.
- Cienciala, E., Kucera, J., Malmer, A., 2000. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. Journal of Hydrology, 236: 109-120.
- Cienciala, E., Mellander, P.E., Kucera, J., Oplustilova, M., Ottoson-Löfvenius, M., Bishop, K., 2002. The effect of a north-facing forest edge on tree water use in a boreal Scots pine stand. Canadian Journal for Forest Research, 32: 693-702.
- Çepel, N., 1986. Barajların yukarı yağış havzaları için arazi kullanım planlamasının ekolojik esasları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 36 (2): 17-27.
- Çepel, N., 1993. Toprak-Su-Bitki İlişkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Çiçek, E., 2004. Su basar ormanların özellikleri ve Türkiye'nin su basar ormanları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 54 (2): 107-111.
- Efe, A., Alptekin, Ü., 1989. Önemli bir su basar ormanı: Haciosman. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 39(2): 164-171.
- Ekim, T., Kalyoncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., Adıgüzel, N., 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı. Barışcan Ofset, Ankara.
- Granier, A., 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. Tree Physiology, 3: 309-320.
- Ide, J., Finer, L., Lauren, A., Piirainen, S., Launiainen S., 2013. Effects of clear-cutting on annual and seasonal runoff from a boreal forest catchment in eastern Finland. Forest Ecology and Management, 304: 482-491.
- Jimenez, M.S., Cermak, J., Kucera, J., Morales, D., 1996. Laurel forests in Tenerife, Canary Island: the annual sap flow in Laurus trees and stand. Journal of Hydrology, 183: 307-321.
- Kucera J., Cermak, J., Penka, M., 1977. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. Biologia Plantarum, 19: 413-420.
- Kucera, J., Cermak, J., Penka, J., 1987. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. Biologia Plantarum, 19 (6): 413-420.
- Lagergren, F., Lankreijer, H., Kucera, J., Cienciala, E., Mölder, M., Lindroth, A., 2008. Thinning effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden. Forest Ecology and Management, 255: 2312-2323.

- Lindroth, A., Cermak, J., Kucera, J., Cienciala, E., Eckersten, H., 1995. Sap flow by the heat balance method applied to small size *Salix* trees in a short-rotation forest. *Biomass and Bioenergy*, 8(1): 7-15.
- Martin, T.A., Brown, K.J., Cermak, J., Ceulemans, R., Kucera, J., Meinzer, F.C., Rombold, J.S., Sprugel, D.G., Hincley, T.M., 1997. Crown conductance and tree and stand transpiration in a second-growth *Abies amabilis* forest. *Canadian Journal for Forest Research*, 27: 797-808.
- Nadezhdina, N., 2012. Sap flux density measurements based on the heat field deformation method. *Trees*, 26: 1439-1448.
- Özhan, S., 1982. Belgrad Ormanındaki Bazı Meşcerelerde Evapotranspirasyonun Deneysel Olarak Saptanması ve Sonuçların Ampirik Modellerle Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 311, İstanbul.
- Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 481, İstanbul.
- Poyatos, R., Llorens, P., Gallart, F., 2005. Transpiration of montane *Pinus sylvestris* L. And *Quercus pubescens* Willd. Forest stands measured with sap flow sensors in NE Spain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9:493-505.
- Sakuratani, T., 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology*, 37 (1) : 9-17.
- Sakuratani, T., 1984. Improvement of the probe for measuring water flow rate in intact plants with the stem heat balance method. *Journal of Agricultural Meteorology*, 40: 273-277.
- Saugier, B., Grainer, A., Pontailler, J.Y., Dufrene, E., Baldocchi, D.D., 1997. Transpiration of a boreal pine forest measured by branch bag, sap flow and micrometeorological methods. *Tree Physiology*, 17: 511-519.
- Schiller, G., Ungar, D.E., Moshe, Y., Cohen, S., Cohen, Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under east Mediterranean climate II. The transpiration of *Quercus calliprinos* Webb. In response to silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management*, 179:483-495.
- Schiller, G., Cohen, S., Ungar, E.D., Moshe, Y., Herr, N., 2007. Estimating water use of sclerophyllous species under east-Mediterranean climate III. Tabor oak forest sap flow distribution and transpiration. *Forest Ecology and Management*, 238: 147-155.
- Stednick, J.D., 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology*, 176: 79-95.
- Vertessy, R.A., Hatton, T.J., Reece, P., O'Sullivan, S.K., Benyon, G., 1997. Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of sap flow measurement technique. *Tree Physiology*, 17: 747-756.
- Wilson, K.B., Hanson, P.J., Mulholland, P.J., Baldocchi, D.D., Wullschleger, S.D., 2001. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 106: 153-168.
- Wullschleger, S.D., Hanson, P.J., Todd, D.E., 2001. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecology and Management*, 143: 205-213.