

3.12. Gövde Hacmi

3.12.1. Bölümleme Yöntemi

Ağaç gövdesi üzerinde ölçülen çap değerlerinden yararlanılarak Huber, Smalian ya da Newton Formülleri ile doğruya en yakın gövde hacim değeri bu yöntemle hesaplanır.

Örnek 1: Aşağıdaki Tabloda verilen değerleri kullanarak 21 m boyundaki bir ağacın gövde hacmini hesaplayınız.

Yük(m)	0.3	1.3	3.3	5.3	7.3	9.3	11.3	13.3	15.3	17.3	19.3
Çap(cm)	30	28	27	26	25	24	22	19	16	10	7

Dip kütük hacmi silindir varsayımıyla hesaplanabilir.

$$V_{dk} = 0.785 \times 0.30^2 \times 0.3 = 0.0212 \text{ m}^3$$

0.3-2.3, 2.3-4.3, 18.3-20.3 olmak üzere 10 adet 2 m uzunluğundaki bölümlerin hacmi, orta çapları ölçüldüğünden Huber formülü ile hesaplanabilir.

$$V_s = V_{0.3-20.3m} = 0.785 \times 2 \times (0.28^2 + 0.27^2 + \dots + 0.07^2) = 0.72848 \text{ m}^3$$

Uç parça hacmi ise koni varsayımıyla hesaplanabilir. Ağaç gövdesinin 20.3 m yüksekliğindeki çapı ölçülmediğinden çap düşüşü yardımıyla hesaplanmalıdır. 19.3 m deki çap 7 cm ve uçtaki çap (21 m) 0 olduğuna göre 1.7 m de çap 7 cm düşmektedir. Basit bir orantı ile 20.3 m deki çap değeri 2.9 cm olarak hesaplanır. Böylece yüksekliği 0.7 m ve taban çapı ise 2.9 cm olan koninin hacmi:

$$V_{up} = 0.785 \times (0.029)^2 \times 0.7 / 3 = 0.00015 \text{ m}^3$$

$$\text{Ağacın gövde hacmi} = V_{dk} + V_s + V_{up} = 0.74983 \text{ m}^3$$

Örnek 2: Aşağıdaki Tabloda verilen değerleri kullanarak ağacın gövde hacmini hesaplayınız.

Yük(m)	0	1	2	3	5	9	11	13
Çap(cm)	40	36	34	33	28	20	14	0

Seksiyon uzunlukları farklı olmakla birlikte, orta çaplar da ölçülmemiştir. Bu verilere bağlı olarak 7 bölümün hacmini Smalian formülü ile hesaplayıp toplamamız gerekir.

$$V = 0.69312 \text{ m}^3$$

Örnek 1: Aşağıdaki Tabloda verilen değerleri kullanarak bir ağacın gövde hacmini hesaplayınız.

Yük(m)	0.3	1.3	3.3	5.3	7.3	9.3	10.0
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Çap(cm)	30	28	26	25	20	14	0
---------	----	----	----	----	----	----	---

$$V_{dk} = 0.0212 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_{0.3-8.3m} = 0.39015 \text{ m}^3$$

$$V_{up} = 0.785 \times 0.17^2 \times 1.7 = 0.01286 \text{ m}^3$$

$$V = 0.4242 \text{ m}^3$$

3.12.2. Ağaç Hacim Tabloları Yöntemi

Pratik olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan yöntemdir.

Örnek 1: Göğüs çapı 51.8 cm olan bir ağacın hacmini $V = 0.00027 d^2$ denkleminde yararlanarak hesaplayınız.

$$V = 0.00027 (51.8)^2 = 0.724 \text{ m}^3$$

Örnek 2: Göğüs çapı 81.4 cm ve boyu 24.6 m olan bir ağacın hacmini $V = 0.000035 d^2 h$ denkleminde yararlanarak hesaplayınız.

$$V = 0.000035 \times (81.4)^2 \times 24.6 = 5.705 \text{ m}^3$$

Örnek 1’de verilen hacim denklemi yalnız çapa bağlı olduğundan Tek Girişli Hacim Denklemi, Örnek 2’deki ise çap ve boya bağlı olarak düzenlendiğinden Çift Girişli Hacim Denklemi olarak adlandırılmaktadır. Ormancılıkta ağaç çapları cm, boyları m ve hacimleri ise m^3 biriminden belirlenmesi nedeniyle hacim denklemlerinin düzenlenmesinde de bu birimler esas alınmaktadır. Çünkü birinci örnekte D’nin birimi cm ve V’nin birimi ise m^3 alınarak 0.00027 katsayısı elde edildiğinden, çap değerini denklemden cm olarak hacmi m^3 biriminden hesaplamış oluyoruz. İkinci denklemden de çap cm, boy m ve hacim m^3 olarak alınarak 0.000041 katsayısı hesaplandığından, denklem yardımıyla hacim hesaplamalarında aynı birimleri kullanmak zorundayız.

Ağaç hacim denklemleri türlere bağlı olarak değişiklik gösterdiği gibi aynı türün farklı bölgeleri ve hatta aynı tür ve bölgedeki farklı yöreler için ayrı ayrı hacim denklemleri düzenlenmektedir. Ağaç hacim denklemlerinin oluşturulması ve uygunluklarının denetlenmesi aşağıda alt bölümler halinde açıklanmıştır.

3.12.2.1. Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi

Ağaç hacim denklemlerinin düzenlenmesindeki temel amaç; dikili ağaçlar üzerinde ölçümü doğru, az maliyetli ve pratik olan boyutlardan yararlanarak ağacın gövde hacmini hesaplamak, aynı zamanda meşcere ya da ormandaki tüm ağaçların toplam hacmini elde etmektir. Hacim denklemleri ile ağaç hacim tahminlerinde gerçek gövde hacmine göre bazen artı bazen de eksi yönde sapmalar oluşabilmektedir. Ancak hacim denkleminin sistematik hatasız olması

durumunda, artı ve eksi yöndeki hataların birbirlerini dengelemesi ile meşcere ya da ormandaki toplam hacim değeri gerçeğe çok yakın olarak hesaplanabilmektedir.

Ağaç hacim tabloları örnek ağaçların seçildiği orman alanının büyüklüğüne göre üç gruba ayrılmaktadır.

- Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları
- Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları
- Genel Ağaç Hacim Tabloları

Ağaçların gövde formu pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faktörlerden biri ağaç türüdür. Örneğin Ladin veya Gökmar türündeki ağaçların gövde şekli genellikle paraboloid, buna karşın Kızılcama ve Fıstıkcama gibi ağaçların gövde şekli ise koniye benzemektedir. İkinci bir faktör olarak meşcerenin oluşma biçimi gösterilebilir. Aynı ağaç türü için doğal yolla oluşmuş ve dikimle oluşturulmuş meşcerelerdeki ağaçların gövde şekilleri arasında da önemli farklılık oluşmaktadır. Diğer bir önemli faktör de meşcere sıklığı ve meşcerede uygulanan silvikültürel bakımlara ilişkin müdahale biçimleridir. Yapılan aralama kesimlerinin tipi (alçak veya yüksek aralama) ve şiddeti (zayıf, orta, yüksek) ağaçların gövde şeklini önemli oranlarda etkilemektedir.

Ağaç gövdelerinin homojen (benzer) yapıda olmaları nedeniyle en küçük bir alan için düzenlenen hacim tabloları Yöresel (Lokal) Hacim Tabloları olarak isimlendirilmektedir. Alanın biraz daha genişletilmesi ile Bölgesel Hacim Tabloları, bir ağaç türünün ülkedeki tüm yayılış alanlarını kapsamaması durumunda ise Genel Hacim Tabloları adı verilmektedir. Yöreselden genele doğru gövde şekli değişkenliği artacağından, hacim tablolarının düzenlenmesinde seçilecek ağaç sayısı da buna bağlı olarak artış göstermektedir. Bu nedenle Yöresel bir ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi için 50-100, Bölgesel için 100-500 ve Genel için ise 1000-5000 adet örnek ağacın seçilmesi önerilmektedir.

Öncelikli olarak Yöresel hacim tabloları tercih edilmelidir. Eğer Yöresel hacim tablosu yoksa Bölgesel hacim tablosu o da yoksa Genel Hacim tabloları kullanılmalıdır.

Ağaç hacim tabloları oluşturulma biçimine göre iki gruba ayrılmaktadır.

- Grafik Yöntemle oluşturulan Ağaç Hacim Tabloları
- İstatistiksel Yöntemle oluşturulan Ağaç Hacim Tabloları

Grafik yöntemde; ağaçların yalnız çapa göre ya da çap ve boya göre hacim değerlerini gösteren grafikler üzerinde oluşturulan örnek dağılımını temsil etmesi amacıyla el yordamıyla çizilen hacim eğrisi ya da eğrileri yardımıyla ortalama hacim değerleri elde edilip, sonuçlar hacim tablolarına aktarılmaktadır. Grafik yöntemde hacim eğrisine ilişkin hata değerlerinin hesaplanamaması ve hacim eğrisinin kişiden kişiye değişmesi (sübjektiflik) bu tabloların güvenilirliğini azaltan faktörlerdir.

Bilgisayar öncesi dönemde hacim tabloları, çok sayıda örnek ağaca bağlı olarak grafik yöntemle düzenlenmekteydi. Kapsamlı hesap makinelerinin devreye girmesi ile grafik yöntemden vazgeçilmiş, belirli bir hacim denklemi seçilerek istatistiksel esaslara göre hacim fonksiyonları oluşturulmaya başlanmıştır. Bilgisayarların devre girmesi ile birlikte FORTRAN ve BASIC gibi programlama dilleri ile yazılan bilgisayar programları ile karmaşık matematiksel yapıdaki hacim fonksiyonları oluşturulabilmiş ve modele ilişkin bazı başarı ölçütleri de hesaplanabilmiş ayrıca süre bakımından hesaplama işlemleri en aza indirilmiştir. Günümüzde ise SAS veya SPSS gibi oldukça kapsamlı istatistiksel paket programlar yardımıyla çok sayıda modelden verilere en uygunu seçilirken, hacim tahminlerine ilişkin güvenilirlik düzeyi belirlenebilmekte ve grafik yöntemle kıyasla daha az örnekle ve daha düşük maliyetle hacim denklemleri oluşturulabilmektedir.

Ağaç hacim tabloları kullanılan değişken sayısına göre hacim tabloları üç gruba ayrılmaktadır.

- Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları
- Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları
- Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları

Ağaçların gövde hacmi; çap, boy ve şekil katsayısı gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hacim tahminlerinde yalnız göğüs çapı kullanılmış ise Tek Girişli Hacim tablosu, göğüs çapı ve boy değişkenleri kullanılmış ise Çift Girişli Hacim Tablosu, göğüs çapı ve boya ek olarak diğer bazı değişkenler kullanılmış ise Çok Girişli Hacim Tablosu adı verilmiştir. Çok girişli hacim tabloları güvenilirlik düzeyi en yüksek tablolardır. Ancak, göğüs çapı, boy ve diğer bazı değişkenlerin fonksiyonu olarak hacim tahmininin yapılması nedeniyle pratik açıdan diğer tablolar daha avantajlıdır. Bu nedenle çok girişli hacim tabloları özellikle ekonomik değeri çok yüksek olan ağaçların hacimlendirilmesinde kullanılırken, Tek Girişli Hacim tabloları ise geniş orman alanlarındaki toplam ağaç hacminin tahmininde kullanılmaktadır.

Ağaç hacim tabloları tahmin edilen bağımlı (açıklanan) değişkene göre iki gruba ayrılmaktadır.

- Ağaç Hacmini Doğrudan Tahmin Eden Ağaç Hacim Tabloları
- Ağaç Hacmini Dolaylı Olarak Tahmin Eden Ağaç Hacim Tabloları (Gövde Şekil Katsayısını tahmin ettikten sonra gövde hacim tablolarının oluşturulması)

Regresyon denkleminde bağımlı değişken hacim ise bu denklemlere bağlı olarak düzenlenen hacim tabloları doğrudan tahmin eden hacim tabloları, eğer öncelikle şekil katsayısı bağımlı değişken olarak tahmin edilip, daha sonra şekil katsayısı yardımıyla hacim hesaplamaları yapılmış ise bu tablolara da hacmi dolaylı olarak tahmin eden ağaç hacim tabloları adı verilmektedir.

Ağaç hacim tabloları gövde profili denklemi ile uyumlu olup olmadığına göre iki gruba ayrılmaktadır.

- Gövde Profili Denklemi ile Uyumlu Ağaç Hacim Tabloları
- Gövde Profili Denklemi ile Uyumsuz Ağaç Hacim Tabloları

Ağacın toprak seviyesinden tepe noktasına kadar olan gövde bölümüne ilişkin çap değerlerinin tahmin edildiği denklemlere gövde profili denklemleri adı verilmektedir. Gövde profili denklemlerinin integrali alınabiliyorsa, tek bir matematiksel işlemle gövde hacmi hesaplanabilmektedir. Bu tür denklemlere gövde profili ile uyumlu hacim denklemi adı verilirken, eğer gövde profili denkleminin integrali alınamıyorsa ve hacim hesaplamaları tahmin edilen çap değerlerine bağlı olarak Huber, Smalian veya Newton gibi sayısal yöntemlerle hesaplanıyorsa gövde profili ile uyumsuz hacim tabloları adı verilmektedir. Gövde profili denklemleri ile ağacın herhangi bir bölümüne ilişkin hacim değerleri de hesaplanabilmektedir.

Ağaç hacim tabloları verilerin (data) sağlandığı kaynağa göre iki gruba ayrılmaktadır.

- Arazide Ağaç Gövdesi Üzerindeki Verilere Bağlı Olarak Düzenlenen Ağaç Hacim Tabloları
- Uzaktan Algılama Verilerine Bağlı Olarak Düzenlenen Ağaç Hacim Tabloları

Arazide ağaçlar üzerinde yapılan çap ve boy gibi değişkenlere bağlı olarak düzenlenen hacim tabloları birinci gruba, hava fotoğrafı ya da uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama teknikleri ile ölçülen tepe boyutları yardımıyla hacim tahminleri ise ikinci gruba girmektedir.

Bilindiği gibi ağaçların odun kısmı; kök odunu, gövde odunu ve dal odunu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bunların toplamı ise ağaç hacmini oluşturmaktadır. Kök ve dal odunlarının ekonomik değeri gövde odununa göre daha az olduğundan pek çok ağaç türünde yalnız gövde hacmini tahmin eden tablolar düzenlenmiştir. Ancak, bunlara gövde hacim tablosu adı verilmesi gerekirken, kök ve dal hacimlerinin ihmal edilmesi nedeniyle ağaç hacim tabloları biçiminde bir genelleme yapılmıştır. Bu nedenle bir ağaç hacim tablosunun yalnız gövde hacmini mi verdiği yoksa kök+gövde+dal hacmini mi verdiği açıkça belirtilmelidir. Ülkemizde düzenlenen ağaç hacim tablolarının çoğunda yalnız gövde hacmi tahmini yapılmaktadır.

Hacim tablolarının düzenlenmesinde üç temel aşama bulunmaktadır.

- Örnek ağaçların seçimi ve gerçek hacimlerinin hesaplanması
- Hacim ile ilişkiye getirilecek olan bağımsız (açıklayıcı) değişkenlerin ölçülmesi ve regresyon modeli seçeneklerinin oluşturulması
- Verilere en uygun modelin seçilmesi ve hacim denkleminin kullanılacağı ormanlık alanlar için uygunluğunun test edilmesi

Örnek ağaçların toplumdaki (orman) değişkenliği iyi yansıtacak biçimde seçilmesi gerekir. Örneğin tek girişli hacim tablosu düzenlenecekse her çap basamağından olabildiğince eşit sayıda örnek ağaç seçilmesi ve bunların topluma iyi dağıtılması gerekir. Eğer çift girişli hacim tablosu düzenlenecekse her çap basamağından olabildiğince eşit sayıda ve aynı çap basamağı

İkinci aşama model oluşturma aşamasıdır. Dendrometrik kaynaklarda çok sayıda tek, çift ve çok girişli hacim fonksiyonu bulunmaktadır. Hangi tür fonksiyon düzenlenecekse o gruba ilişkin literatür taraması ile elde edilen hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri ve model uyum ölçütleri SPSS ya da SAS gibi istatistiksel paket programlar yardımıyla hesaplanarak, verilere en uygun hacim fonksiyonu seçilmelidir. Model seçiminde çok sayıda ölçüt bulunmakla birlikte bunlardan en önemlileri;

- F istatistiğine ilişkin anlamlılık düzeyi (regresyon modelinin anlamlı olup olmadığı) seçilen anlamlılık düzeyinden küçük olmalıdır (örneğin $p < 0.05$ veya $p < 0.01$ ya da $p < 0.001$ gibi).
- Belirtme katsayısı, R^2 , veya $R^2_{adj.}$, olabildiğince yüksek olmalıdır (0 ile 1 arasında değer alan bu katsayı 1'e ne kadar yakınsa modelin tahmin gücü o kadar yüksek olmaktadır)
- Tahminin standart hatası, $S_{y.x}$, küçük olmalıdır.
- Regresyon modelindeki parametrelerin anlamlılık düzeyi (her bir parametre için $p < 0.05$ veya $p < 0.01$ ya da $p < 0.001$ koşulunun aranması gibi)
- Ortalama Hatası en düşük olan model seçilmelidir.
- Ortalama Mutlak Hatası en düşük olan model seçilmelidir.
- Toplam Hata Yüzdesi %1'i aşmamalıdır.
- Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi %10'u aşmamalıdır.

Örnek 1: Aşağıdaki verilere bağlı olarak SPSS programı yardımıyla en uygun tek ve çift girişli hacim fonksiyonları oluşturunuz.

I **II** **III** **IV** **V**

SPSS/Analyze/Regression/Curve Estimation: (Dependent: v, Independent: d, tüm modeller) kullanılarak alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tüm modellerin anlamlılık düzeyleri seçilen 0.05 değerinden küçük olduğundan $p < 0.001$ düzeyinde anlamlıdır ve istatistiksel anlamda uygun modellerdir. Modellerin Belirtme Katsayıları (R^2) dikkate alındığında, 0.978 değeri ile Power model ilk sırada yer alırken, 0.971 ile Cubic model 2. sırada ve 0.969 ile Quadratic model ise 3. sırada yer almaktadır.

Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: v

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,935	522,040	1	36	,000	-1,042	,054		
Logarithmic	,819	162,715	1	36	,000	-5,293	1,773		
Inverse	,640	64,042	1	36	,000	2,472	-46,212		
Quadratic	,969	548,606	2	35	,000	-,124	,000	,001	
Cubic	,971	382,392	3	34	,000	,448	-,052	,002	-1,1E-005
Compound	,908	356,294	1	36	,000	,046	1,070		
Power	,978	1590,448	1	36	,000	8,75E-005	2,497		
S	,958	818,862	1	36	,000	1,835	-72,852		
Growth	,908	356,294	1	36	,000	-3,070	,068		
Exponential	,908	356,294	1	36	,000	,046	,068		
Logistic	,908	356,294	1	36	,000	21,545	,934		

The independent variable is d.

Bu üç modele ilişkin daha ayrıntılı sonuçlar “Display ANOVA Table” seçeneği ile elde edilmiş ve tüm parametrelerinin $p < 0.001$ düzeyinde olması ayrıca düzeltilmiş R^2 değerinin diğerlerine göre yüksek ve şekil bakımından hacim verilerine uygun bir trend göstermesi nedeniyle Tek Girişli hacim modeli olarak “Power” model seçilmiştir. Veriler içinde en küçük çap değeri 13 cm ve en büyüğü ise 70 cm’dir. Oluşturulan hacim fonksiyonundan istenilen herhangi bir çap değerine karşılık gelen hacim değeri hesaplanabilir. Ormancılıkta genellikle 2 veya 4’er cm’lik çap basamaklarına göre hacim tablosu düzenlendiğinden aşağıda 2 cm’lik çap basamağına karşılık gelen hacim değerleri SPSS programı ile hesaplatılarak verilmiştir.

$$V = 0.0000875 D^{2.497}$$

d(cm) v(m³)

.....

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
,989	,978	,977	,169

The independent variable is d.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	45,213	1	45,213	1590,448	,000
Residual	1,023	36	,028		
Total	46,236	37			

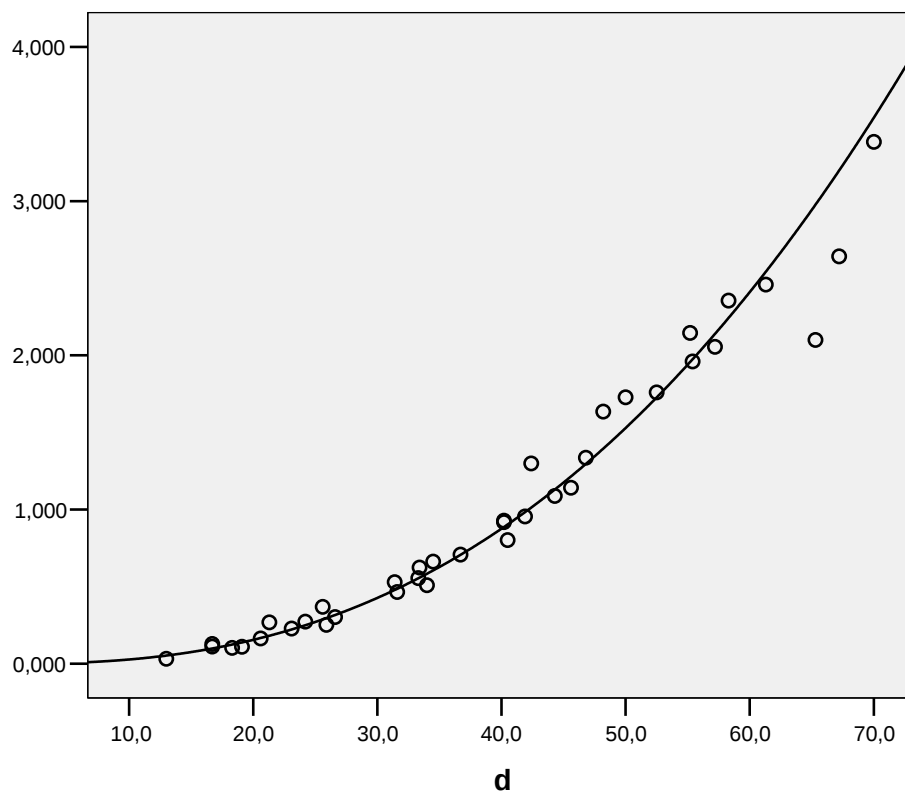
The independent variable is d.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln(d)	2,497	,063	,989	39,880	,000
(Constant)	8,75E-005	,000		4,446	,000

The dependent variable is ln(v).

v



SPSS programı ile aynı örnek veriler kullanılarak çift girişli ve çok girişli hacim denklemleri de oluşturulmuştur. Çift girişli hacim denklemlerinde; çap ve boy (d ve h) değişkenlerinden d^2 , dh, d^2h , hd^2 , d^2h^2 olmak üzere 5 değişken daha türetilerek toplamda 7 açıklayıcı değişkenin fonksiyonu olarak SPSS/Analyze/Regression/Linear (Dependent:V, Independent: d, h, d^2 , dh, d^2h , hd^2 , d^2h^2 , Model: Enter, Forward, Stepwise, Bacward) seçenekleri ile oluşturulan çıktılarına bağlı olarak tüm parametreleri $p<0.05$ düzeyinde anlamlı, Düzeltilmiş Belirtme katsayısı en yüksek ve Tahminin Standart Hatası ise en düşük olan model seçilmiştir. Enter yönteminde 7 açıklayıcı değişkenin tümü modelde kullanılmış olup, bunlardan yalnız biri (d^2h^2) anlamlı bulunmuştur ($R^2_{adj}=0.992$ ve $Sy.x = 0.0783 \text{ m}^3$).

Forward Selection yönteminde 7 açıklayıcı değişkenlerden ikisi (dh ve d^2h) anlamlı bulunarak modele alınmıştır ($R^2_{adj}=0.992$ ve $Sy.x = 0.0764 \text{ m}^3$).

Stepwise yönteminde 7 açıklayıcı değişkenden yalnız ikisi (dh ve d^2h) modelde yer almıştır ($R^2_{adj}=0.992$ ve $Sy.x = 0.0764 \text{ m}^3$).

Bacward Elimination yönteminde 7 açıklayıcı değişkenden yalnız ikisi (d ve d^2h^2) modelde yer almıştır ($R^2_{adj}=0.992$ ve $Sy.x = 0.0768 \text{ m}^3$).

En düşük hata değeri Forward Selection ve Stepwise yöntemleri ile elde edilen model olması nedeniyle çift girişli hacim denklemi olarak seçilmiştir.

$$V = -0.039 + 0.00002435d^2h + 0.000376 dh$$

Örnek ağaçların çap değerleri 13-70 cm ve boy değerleri ise 4.8-23.2 m arasında değişmektedir. Örnek ağaçlar 4'er cm çap basamağı ve 2'şer m'lik boy basamağına göre aşağıda verilmiştir.

ds in * hs in Crosstabulation

Count		hsin									Total
		5,00	9,00	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00	23,00	
dsin	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	18	0	2	1	0	1	0	0	0	0	4
	22	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3
	26	0	0	0	3	0	0	1	0	0	4
	30	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	34	0	0	0	0	3	1	0	0	0	4
	38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	42	0	0	0	0	2	0	2	1	0	5
	46	0	0	0	0	0	1	2	0	0	3
	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	54	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
	58	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	62	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	66	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	70	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		1	2	2	4	8	4	8	4	5	38

Çift girişli hacim tablosu

D/H	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
14	0.011	0.031	0.051							
18		0.093	0.122	0.152	0.181					
22				0.182	0.222	0.262	0.302			
26					0.302	0.355	0.407	0.459		
30						0.459	0.525	0.592		
34						0.575	0.657	0.739		
38						0.703	0.802	0.901		
42						0.842	0.960	1.077	1.195	
46							1.131	1.269	1.406	
50							1.315	1.475	1.634	1.794
54								1.696	1.878	2.061
58								1.932	2.139	2.347
62								2.182	2.416	2.650
66								2.448	2.710	2.971
70								2.728	3.019	3.311

Çok girişli hacim tablolarının düzenlenmesi amacıyla çap ve boya ek olarak, d_{6m} (gövdenin 6m deki çapı), d_{7m} (gövdenin 7 m'deki çapı), t_y (tepe yüksekliği), $h_{0.67h}$ (göğüs çapının %67'sine karşılık gelen gövde çapının yerden yüksekliği) gibi değişkenler kullanılmaktadır. Bunlardan $h_{0.67d}$ değişkeni seçilip, çap ve boyla birlikte üç açıklayıcı değişkenin fonksiyonu olarak çok girişli hacim tablosu düzenlenmiştir.

Çift girişli hacim denklemlerinin düzenlenmesinde kullanılan 7 açıklayıcı değişkene ek olarak $h_{0.67d}$ değişkeni ve bundan oluşturulmuş olan $(h_{0.67d})^2$ ve $(d \times h \times h_{0.67d})$ olmak üzere 10 açıklayıcı değişken kullanılarak çok girişli hacim denklemi oluşturulmuştur. Hacim fonksiyonu olarak SPSS/Analyze/Regression/Linear/ (dependent: V, Independent: 10 adet açıklayıcı değişken, Yöntem: Enter, Forward, Stepwise ve Bacward) seçenekleri ile oluşan çıktılarına göre en iyi hacim denklemi aşağıdaki gibidir.

Enter yönteminde 10 açıklayıcı değişken modelde yer almasına karşın bunlardan yalnız ikisi (d^2h^2 ve $d.h.h_{0.6d}$) anlamlı bulunmuştur ($R^2_{adj.}=0.996$ ve $Sy.x = 0.0574 \text{ m}^3$).

Forward Selection yönteminde 10 açıklayıcı değişkenden üçü (d^2h , d^2h^2 ve $d.h.h_{0.6d}$) modelde yer almıştır. ($R^2_{adj.}=0.995$ ve $Sy.x = 0.0618 \text{ m}^3$).

Stepwise yönteminde 10 açıklayıcı değişkenden üçü (d^2h , d^2h^2 ve $d.h.h_{0.6d}$) modelde yer almıştır ($R^2_{adj.}=0.995$ ve $Sy.x = 0.0618 \text{ m}^3$).

Bacward Elimination yönteminde 10 açıklayıcı değişkenden beşi (d , dh^2 , d^2h^2 , $h_{0.6d}^2$ ve $d.h.h_{0.6d}$) modelde yer almıştır ($R^2_{adj.}=0.996$ ve $Sy.x = 0.0555 \text{ m}^3$).

En düşük hata değeri Bacward Elimination yöntemi ile elde edilen model olması nedeniyle en uygun çok girişli hacim denklemi olarak seçilmiştir.

$$V = -0.108 + 0.011d - 0.000024 dh^2 + 0.00000123 d^2h^2 - 0.002 h_{0.6d}^2 + 0.000082 d.h.h_{0.6d}$$

Tek, çift ve çok girişli hacim denklemleri ile her bir örnek ağacın hacimleri hesaplanıp, gerçek hacim değerlerine göre farkları alınarak oluşturulan tablo aşağıda verilmiştir. Bu tablodan; en yüksek fark değerlerinin tek girişli, en düşük fark değerlerinin ise çok girişli hacim tabloları ile elde edildiği açıkça görülmektedir. Ayrıca fark değerleri yardımıyla hesaplanan Farkların Ortalaması (FO), Farkların Mutlak Değerlerinin Ortalaması (FMDO), Toplam Hata Yüzdesi (THY) ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY) değerleri ise tablodan sonra verilmiştir.

$$FO = (f_1 + f_2 + \dots + f_n)/n$$

$$FMDO = |f_1| + |f_2| + \dots + |f_n|/n$$

$$THY = 100(A-B)/B$$

$$OMHY = 100(C) /B$$

Burada

$f_1, f_2, \dots, f_n$: Denklem hacmi-gerçek hacim değerlerini

n : Örnek ağaç sayısını

A: Örnek ağaçların hacim denklemine göre hesaplanan hacim değerleri toplamını

B: Örnek ağaçların bölümlleme yöntemine göre hesaplanan hacim değerleri toplamını

C: Her bir ağaç için hesaplanan denklem hacmi-gerçek hacim değerlerinin mutlak değerleri toplamını göstermektedir.

Toplam hatanın mutlak değerce %1'i Ortalama Mutlak Hatanın ise %10'u aşmaması önerilmektedir.

<u>Vg</u>	<u>Vtek</u>	<u>Vçift</u>	<u>Vçok</u>	<u>Ftek</u>	<u>Fçift</u>	<u>Fçok</u>
,273	,250	,267	,268	-,023	-,006	-,005
,802	,903	,750	,747	,101	-,052	-,055
,955	,983	,873	,909	,028	-,082	-,046
,662	,605	,682	,670	-,057	,020	,008
,164	,167	,165	,162	,003	,001	-,002
2,459	2,542	2,595	2,522	,083	,136	,063
,555	,554	,562	,537	-,001	,007	-,018
,918	,887	,968	,982	-,031	,050	,064

,509	,584	,542	,469	,075	,033	-,040
,228	,222	,228	,224	-,006	,000	-,004
,303	,316	,315	,306	,013	,012	,003
,111	,099	,097	,090	-,012	-,014	-,021
1,960	1,975	1,805	1,885	,015	-,155	-,075
,708	,706	,688	,703	-,002	-,020	-,005
,465	,486	,493	,485	,021	,028	,020
,624	,558	,561	,592	-,066	-,063	-,032
,110	,138	,109	,103	,028	-,001	-,007
,928	,887	,957	,952	-,041	,029	,024
,529	,478	,548	,540	-,051	,019	,011
,252	,296	,279	,272	,044	,027	,020
,103	,124	,105	,102	,021	,002	-,001
,369	,287	,434	,420	-,082	,065	,051
,268	,182	,270	,321	-,086	,002	,053
,128	,099	,145	,165	-,029	,017	,037
1,299	1,013	1,233	1,403	-,286	-,066	,104
1,088	1,130	1,146	1,082	,042	,058	-,006
1,141	1,215	1,079	1,064	,074	-,062	-,077
1,336	1,296	1,337	1,288	-,040	,001	-,048
1,635	1,395	1,634	1,617	-,240	-,001	-,018
1,728	1,529	1,681	1,672	-,199	-,047	-,056
1,760	1,727	1,732	1,725	-,033	-,028	-,035
2,145	1,957	2,163	2,170	-,188	,018	,025
2,355	2,243	2,295	2,306	-,112	-,060	-,049
2,055	2,139	2,136	2,109	,084	,081	,054

2,100	2,977	2,387	2,339	,877	,287	,239
3,384	3,541	3,222	3,294	,157	-,162	-,090
,032	,053	,004	,012	,021	-,028	-,020
<u>2,642</u>	<u>3,198</u>	<u>2,597</u>	<u>2,578</u>	<u>,556</u>	<u>-,045</u>	<u>-,064</u>

Örnek ağaçların toplam hacmi (38 adet):

Gerçek 39.083 m³

Tek girişli 39.740 m³

Çift girişli 39.083 m³

Çok girişli 39.083 m³

Çift ve çok girişli hacim denklemleri ile 38 örnek ağacın hacim toplamı (39.083 m³) gerçek değere eşit olarak hesaplanmıştır. Tek girişli hacim denkleminde toplamda 0.657 m³ fazlalık bulunmaktadır.

Bu değerlere bağlı olarak THY hesaplanabilir.

THY (Tek girişli) = $100(39.740-39.083)/39.083 = +\%1.68 > \%1$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanamamıştır.

THY (Çift girişli) = $100(39.083-39.083)/39.083 = +\%0 < \%1$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanmıştır.

THY (Çok girişli) = $100(39.083-39.083)/39.083 = +\%0 < \%1$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanmıştır.

Hacim denklemlerine ilişkin Farkların Ortalaması (FO) aşağıda verilmiştir.

Tek girişli 0.017 m³

Çift girişli 0.000 m³

Çok girişli 0.000 m³

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
Vgerçek	38	,032	3,384	39,083	1,02850	,867400
Vtekgir	38	,053	3,541	39,740	1,04579	,940614
Vçiftgir	38	,004	3,222	39,083	1,02850	,864211
Vçokgir	38	,012	3,294	39,083	1,02850	,865375
Ftekgir	38	-,286	,877	,657	,01729	,194021
Fçiftgir	38	-,162	,287	,000	,00000	,074313
Fçokgir	38	-,090	,239	,000	,00000	,059242
Valid N (listwise)	38					

Hacim denklemlerine ilişkin Farkların Mutlak Değerleri Ortalaması (FMDO) aşağıda verilmiştir.

Tek girişli 0.101 m³

Çift girişli 0.047 m³

Çok girişli 0.041 m³

Hacim denklemlerine göre Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi Değerleri aşağıda verilmiştir.

OMHY (Tek girişli) = $100(3.83)/39.083 = \%9.80 < \%10$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanmıştır.

OMHY (Çift girişli) = $100(1.787)/39.083 = \%4.70 < \%10$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanmıştır.

OMHY (Çok girişli) = $100(1.548)/39.083 = \%3.96 < \%10$ Önerilen dendrometrik koşulu sağlanmıştır. Burada OMHY değerlerinin tek girişliden çok girişliye doğru önemli miktarlarda azaldığına dikkat edilmelidir.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
MFtek	38	,001	,877	3,830	,10079	,165886
MFçift	38	,000	,287	1,787	,04702	,057026
MFçok	38	,001	,239	1,548	,04074	,042484
Valid N (listwise)	38					

Toplamda 38 örnek ağaçtan elde edilen verilere bağlı olarak elde edilen sonuçları genellemek doğru bir yaklaşım olmamakla birlikte, sonuçların beklenildiği gibi gerçekleştiği söylenebilir. Çünkü tek girişli hacim tabloları genellikle THY ve OMHY koşullarını sağlamazlar. Ancak pratik olması nedeniyle özellikle ormanlardaki ağaç servetinin (varlığının) belirlenmesinde bu tablolar kullanılmaktadır. Dikili satışlar için daha güvenilir sonuçlar veren hacim tablolarına ihtiyaç duyulduğunda, çift girişli hacim tabloları önerilebilir. Ekonomik değeri çok yüksek olan ağaçların hacimlendirilmesinde ise çok girişli hacim tabloları kullanılabilir.

3.12.2.2. Ağaç Hacım Tablolarının Kontrolü

Hacım tablolarının bir orman alanındaki ağaçların hacimlendirilmesinde kullanılmadan önce istatistiksel olarak uygunluk düzeyinin belirlenmesi gerekir. Örneğin yukarıda verilen tek ve çift girişli hacım denklemlerinin A mühendisinin görev alanındaki aynı ağaç türü için uygun olup olmadığının nasıl denetlenebileceği örneğini inceleyelim.

Hacım denkleminin düzenlenmesi sırasında seçilmiş olan 38 adet örnek ağaçtan belki de hiçbiri A mühendisinin görev alanından alınmamıştır. Dolayısıyla A mühendisinin bu hacım denklemlerini kullanabilmesi için kendi yöresinden istatistik kurallara uygun olarak seçeceği farklı çap ve boylardaki ağaçların gerçek hacimlerini öncelikli olarak bilmesi gerekir ki hacım denklemlerinin uygunluk düzeylerini test edebilsin. Bu amaçla A mühendisin kendi yöresinden ilgili ağaç türünü temsilen farklı çap ve boylarda 15 ağaç seçtiğini, bu ağaçların çap ve boylarını ölçtüğünü, ayrıca bölümleme yöntemi gerçek hacimlerini hesapladığını ve sonuçları aşağıda verilen örneği ele alalım. Uygunluk denetimi için istatistiksel testlerden yararlanmak zorundayız. Biri örnek ağaçların gerçek hacimleri, diğeri ise test edilmek istenen hacım denkleminde hesaplanan hacım değerleri olmak üzere iki bağımlı grup ortaya çıkmaktadır. Parametrik test varsayımlarının sağlanması durumunda “Bağımlı Gruplarda t Testi”, sağlanamaması durumunda ise Parametrik olmayan testlerden “Wilcoxon” testi kullanılmalıdır.

Ano	d	h	Vkont
1	42	17	1,082
2	30	18	,565
3	35	20	,809
4	52	23	2,092
5	55	21	1,893
6	28	16	1,405
7	22	18	,333
8	33	19	,756
9	34	19	,704
10	37	22	1,055
11	48	23	1,759
12	28	20	,534

13	19	14	,155
14	36	17	,677
<u>15</u>	<u>34</u>	<u>19</u>	<u>,762</u>

Her bir örnek ağaç için tek ve çift girişli hacim denklemleri ile hesaplanan hacim değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ano	d	h	Vkont	Vtek	Vçift
1	42	17	1,082	,989	,958
2	30	18	,565	,427	,558
3	35	20	,809	,627	,820
4	52	23	2,092	1,686	1,922
5	55	21	1,893	1,940	1,939
6	28	16	1,405	,359	,434
7	22	18	,333	,197	,322
8	33	19	,756	,542	,700
9	34	19	,704	,584	,738
10	37	22	1,055	,721	,999
11	48	23	1,759	1,381	1,664
12	28	20	,534	,359	,553
13	19	14	,155	,136	,184
14	36	17	,677	,673	,726
<u>15</u>	<u>34</u>	<u>19</u>	<u>,762</u>	<u>,584</u>	<u>,738</u>

“SPSS/Analze/DecriptiveStatistics/Descriptives/Explore/Dependent: Vgerçek, Vtek, Vçift/plots: Normality plot with test” seçenekleri kullanılarak hacim değerlerinin normallik denetimi yapılabilir. Kolmogorov-Simirnov testine göre 0.05 anlamlılık düzeyi için Vkontrol ile Vtek girişli hacim değerleri normal dağılım göstermemektedir. Shapiro-Wilk testine göre ise Vkontrol, Vtek ve Vçift girişli hacim değerlerinin hiçbirisi normal dağılım göstermemektedir. Küçük örnekler için Shapiro-Wilk testi Kolmogorov-Simornov testine göre daha güçlü olması nedeniyle Shapiro-Wilk testi sonuçlarını esas alabiliriz. Diğer taraftan Kolmogrov-Simornov

testine göre V_{kontol} değerleri normal dağılmadığından, bu değerlerle yapılacak karşılaştırmalarda da parametrik testlerin kullanılmaması gerekir. Bilindiği gibi parametrik testleri kullanabilmek için örnek büyüklüğünün de yeterli düzeyde olması gerekir. Burada örnek sayısı 30'dan az ($n=15$) olması ve karşılaştırılacak grupların normal dağılım göstermemesi nedeniyle Parametrik olmayan testlerden yararlanılarak kıyaslamalar yapılacaktır.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kont.v	,233	15	,028	,880	15	,047
Vktek	,253	15	,011	,862	15	,026
Vkçift	,216	15	,058	,860	15	,024

a. Lilliefors Significance Correction

SPSS/Analyze/Nonparametrics/2 Related Samples/ VTek-Vgerçek ve VÇift-Vgerçek seçenekleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tek girişli hacim denklemi için anlamlılık düzeyi 0.001 seçilen önem düzeyinden (0.05) küçük olması nedeniyle sıfır hipotezi reddedilmiş ve bu denklemin ilgili alan için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Çift girişli hacim denklemi için ise $0.427 > 0.05$ olduğundan sıfır hipotezi kabul edilmiş ve bu denklemin ilgili alan için kullanılabileceği sonuna varılmıştır.

Ranks

	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vktek - Kont.v Negative Ranks	14 ^a	8,29	116,00
Positive Ranks	1 ^b	4,00	4,00
Ties	0 ^c		
Total	15		
Vkçift - Kont.v Negative Ranks	8 ^d	9,25	74,00
Positive Ranks	7 ^e	6,57	46,00
Ties	0 ^f		
Total	15		

a. $V_{ktek} < Kont.v$

b. $V_{ktek} > Kont.v$

c. $V_{ktek} = Kont.v$

d. $V_{kçift} < Kont.v$

e. $V_{kçift} > Kont.v$

f. $V_{kçift} = Kont.v$

Test Statistics^b

	Vktek - Kont.v	Vkçift - Kont.v
Z	-3,181 ^a	-,795 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001	,427

a. Based on positive ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Eğer Parametrik test varsayımları gerçekleştirilmiş olsaydı SPSS/Analyze/Compaire Means/ Paired Samples t Test/ Dependent: VTek-Vgerçek ve VÇift-Vgerçek seçenekleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş olacaktı. Tek girişli hacim denklemi için anlamlılık düzeyi ($p < 0.001$) olup, bu değer seçilen anlamlılık düzeyi olan 0.05’den küçük olduğundan test edilen alan için uygun değildir. Çift girişli hacim denklemi ise $0.22 > 0.05$ olduğundan sıfır hipotezi kabul edilmiş ve uygun bulunmuştur. Aşağıda verilen iki grafik incelendiğinde tek girişli hacim denkleminin negatif yönlü (eksik) sapma gösterdiği açıkça anlaşılmaktadır. Kullanılması durumunda satıcının aleyhine sonuç verecektir.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Kont.v	,90540	15	,579743	,149689
	Vktek	,74697	15	,531733	,137293
Pair 2	Kont.v	,90540	15	,579743	,149689
	Vkçift	,88351	15	,544322	,140543

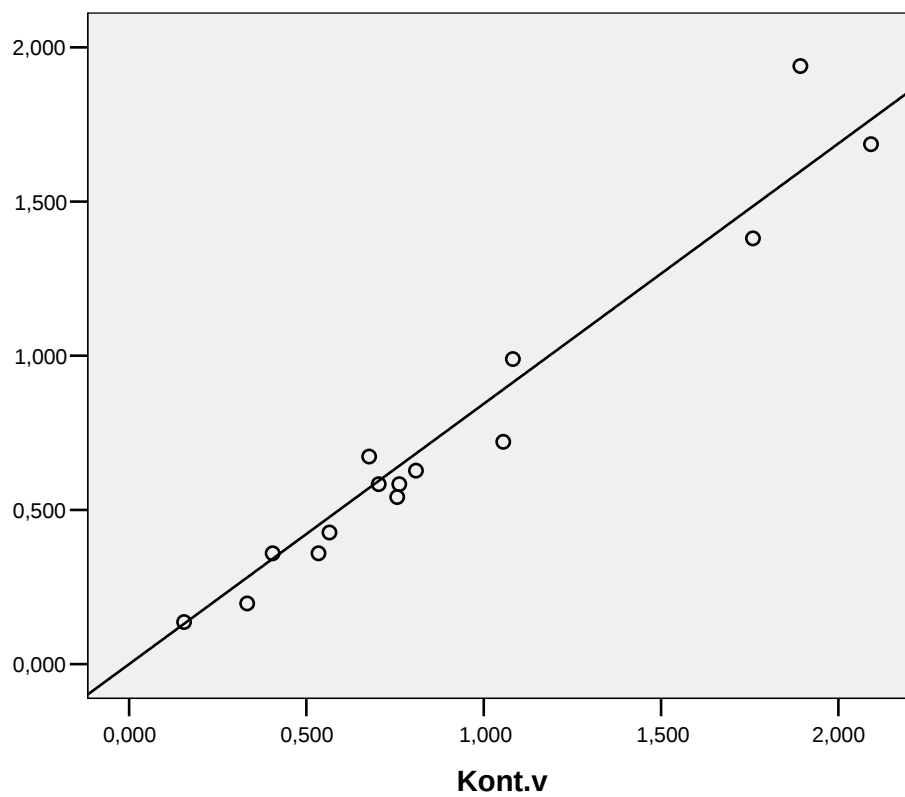
Paired Samples Correlations

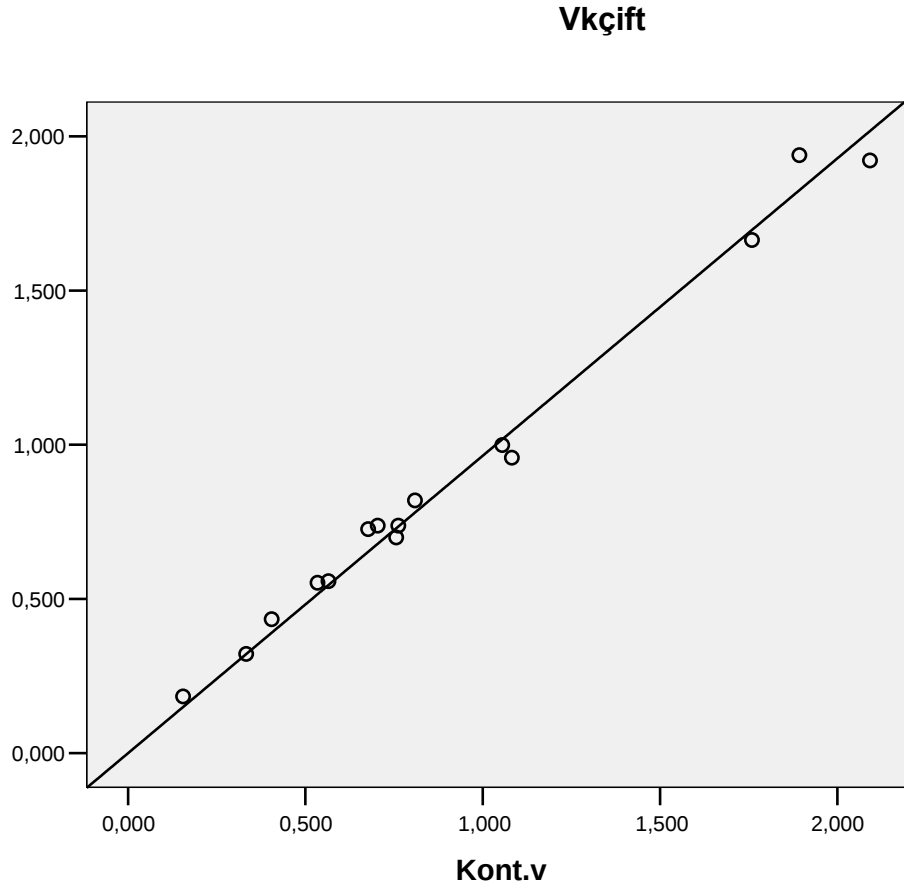
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Kont.v & Vktek	15	,975	,000
Pair 2	Kont.v & Vkçift	15	,995	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig.
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Kont.v - Vktek	,158434	,133558	,034484	,084472	,232396	4,594	14	
Pair 2	Kont.v - Vkçift	,021892	,066042	,017052	-,014680	,058465	1,284	14	

Vktek





Hacım tabloların düzenlenmesi için yeterli sayıda ve değişkenlikte örnek seçimi çok önemlidir. Arazide amaca uygun örnek ağaçların seçilmesi, kesilip bölümleme yöntemi ile hacimlendirilmesi işlemleri oldukça maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle uygulamada görev yapan meslektaşlarımızla, örneğin Orman İşletme Şefleri ile iletişime geçilerek kesim yapılan ormanlardan (bakım son hasılat gibi) ağaç hacım tablolarının düzenlenmesi ve kontrolü amacına uygun çok sayıda ve istenen özelliklerde örnek ağaçlar elde edilebilir. Örnek ağaçlarından rasgele seçim yöntemiyle bir kısmı (%70-80) seçilerek ağaç hacım denklemi geliştirilebilir, kalan örnek ağaçlarla da (%20-30) oluşturulan hacım denkleminin istatistiksel denetimi yapılabilir.

3.12.3. Şekil Katsayısı Yöntemi

Ağaçların gövde şekillerinden yararlanılarak gövde hacimleri tahmin edilebilmektedir. Ağaçların gövde şekilleri Göğüs Boyu Şekil Katsayısı (f1.3) ve Doğal Şekil Katsayısı (f0.1h) olmak üzere iki farklı yöntemle hesaplanabilir. Doğal şekil katsayısı, göğüs boyu şekil katsayısına göre gövde şeklini daha iyi yansıtmaktadır. Ancak pratik açıdan f1.3 tercih edilmektedir.

Bir ağacın f1.3 veya f0.1h değeri, gövde hacminin bilinip bilinmemesine bağlı olarak iki farklı yolla hesaplanabilir.

Ağacın gövde hacmi bilindiğinde şekil katsayısının hesaplanması:

Örnek 1: Göğüs çapı 37.6 cm, boyu 19.7 m ve gövde hacmi ise 0.984 m³ olan bir ağacın f1.3 değerini hesaplayınız.

Ağaç hacmi = Silindir hacmi x f1.3

$$0.984 = 0.785 \times 0.376^2 \times 19.7 \times f1.3$$

$$f1.3 = 0.984 / 2.186 = 0.45 \text{ (Koni ile paraboloid arasında ve paraboloid'e daha yakın)}$$

Örnek 2: Yerden 2.3 metre yüksekliğindeki gövde çapı 44.9 cm, boyu 23.0 m ve gövde hacmi ise 1.213 m³ olan bir ağacın şekil katsayısını hesaplayınız.

f1.3 değerini hesaplarken göğüs çapını, f0.1h değerini hesaplarken ise ağaç boyunun %10'una karşılık gelen yükseklikteki çapın, d0.1h, çapı kullanıldığına dikkat etmelisiniz.

Verilen çap değeri ağaç boyunun %10'unundaki çap değeridir. Çünkü ağaç boyu 23 m'dir ve %10'u ise 2.3 m'ye karşılık gelmektedir.

Ağaç hacmi = Silindir hacmi x f0.1h

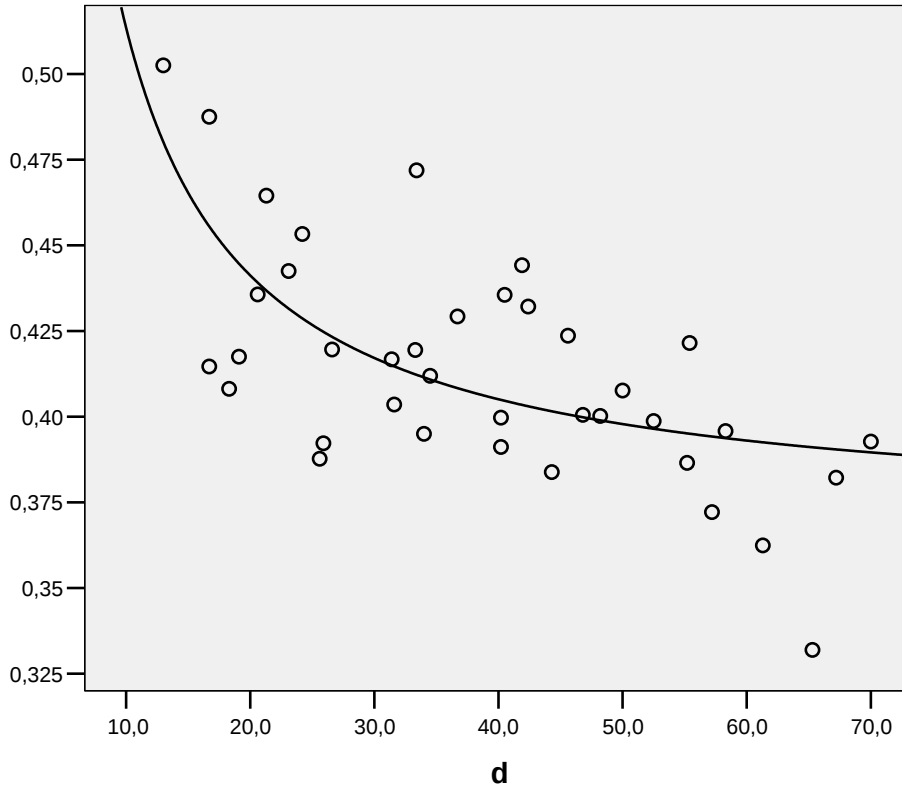
$$1.231 = 0.785 \times 0.449^2 \times 23 \times f0.1h$$

$$f0.1h = 1.213 / 3.640 = 0.333 \text{ (tam koni)}$$

Ağacın gövde hacmi bilinmediğinde şekil katsayısının hesaplanması:

Ağaçların gövde hacimleri bilinmiyorsa, şekil katsayılarını dolaylı yoldan, örneğin regresyon denklemleri ile tahmin edebilir. Hacım denklemlerinde olduğu gibi çap, boy ya da çap ve boyun birlikte fonksiyonu olarak şekil katsayısı tahmini yapılabilir. Çap ile şekil katsayısı arasında negatif yönlü bir ilişki bulunmaktadır.

f1.3



Örnek 3: $f1.3 = 0.369 + 1.445/d1.3$ denkleminde yararlanarak göğüs çapı 88.3 cm ve boyu 22.7 m olan bir ağacın bir ağacın gövde hacmini hesaplayınız.

$$f1.3 = 0.369 + 1.445/88.3 = 0.385$$

$$V = (0.785 \times 0.883^2 \times 22.7) \times 0.385 = 5.349 \text{ m}^3$$

Örnek 4: $f1.3 = 0.484 - 0.0012d - 0.0023h$ denkleminde yararlanarak göğüs çapı 14.6 cm ve boyu 9.8 m olan bir ağacın bir ağacın gövde hacmini hesaplayınız.

$$f_{1.3} = 0.584 - 0.0012 \times 14.6 - 0.0023 \times 9.8 = 0.444$$

$$V = (0.785 \times 0.146^2 \times 9.8) \times 0.444 = 0.073 \text{ m}^3$$