
SERİ

B

CİLT

54

SAYI

2

2004

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



F.1

ÇOK KAYNAKLI ORMAN ENVANTERİNDE KULLANILABİLECEK ÇOK AŞAMALI ÖRNEKLEME YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Ünal ASAN¹⁾
Y. Doç. Dr. İbrahim ÖZDEMİR²⁾
Ar.Gör.Ulaş Yunus ÖZKAN¹⁾

Kısa Özet

Geniş alanları kapsayan ulusal veya bölgesel orman envanterinde, ağaç servetinin belirlenmesi amacıyla değişik bilgi kaynaklarına başvurulmaktadır. Bu kaynakların başında yersel ölçmeler, hava fotoğrafları ve uydu verileri gelir. Yersel ölçmeler en ayrıntılı ve doğru bilgileri sağlamalarına karşın, çok zaman alıcı ve pahalıdır. Uygulamada yersel ölçümleri azaltarak envanter giderlerini düşürmek amacıyla uzun yıllardan beri hava fotoğraflarına başvurulmaktadır. Son yıllarda, ulusal orman envanteri çalışmalarında uydu verilerinin de bilgi kaynağı olarak kullanılmaya başlamasıyla, adı geçen üç veri grubunu kombine eden çok aşamalı örnekleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu makalede, çok aşamalı örnekleme yöntemleri konu ile ilgili literatüre dayanılarak tanıtılmış ve bu yöntemlerinin ülkemizde yakın zamanda gerçekleşmesi kaçınılmaz olan ulusal orman envanteri çalışmalarında kullanım olanakları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman envanteri, Çok aşamalı örnekleme

MULTI-PHASE SAMPLING METHODS FOR MULTI-RESOURCE FOREST INVENTORY

Abstract

Assorted information sources have been used to estimate the wood volume in the national or regional forest inventory covering the large areas. The tops of these are fieldwork, aerial photos, and satellite data. Although more detailed and reliable information is attained by fieldwork, it is very expensive and time-consuming. Aerial photos have been used to reduce the inventory cost by means of decreasing the terrestrial works for a long time. With the beginning of satellite data use in the national forest inventory studies during the last decade, multi-phased sampling methods have been employed to combine fieldwork, aerial photos, and satellite data. In this paper, multi-phased sampling methods were explained basing on the literature concerning the subject. Using possibilities of these methods in the national forest inventory studies those are inevitable for our country were investigated.

Keywords: Forest inventory, Multi-Phase sampling methods

¹⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Anabilim Dalı

²⁾ S.D.Ü. Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Anabilim Dalı

1. GİRİŞ

Belirli bir alandaki orman ekosisteminin hem bizzat kendi varlığını ve hem de bu ekosistem içinde kendiliğinden oluşan ürün ve hizmetler ile, bunlar üzerinde etken olan çevresel faktörleri sayısal olarak saptamak amacıyla yapılan bir dizi ölçme, sayım, gözlem, hesap ve değerlendirme işlerinin bütünü orman envanteri olarak tanımlanmaktadır. Orman envanteri, söz konusu kaynağın büyüklüğüne ve amaca bağlı olarak; meşcere, plan ünitesi ve ulusal olmak üzere üç değişik bazda yapılabilmektedir.

Orman envanterinde orman alanları ve bunların ayrıldığı alt toplulukları (meşcere tipleri) belirlemek ve taşıdıkları ağaç servetini kestirmek birinci amaçtır. Bu amacı gerçekleştirmek için, yersel ölçmeler, hava fotoğrafları ve uydu verileri gibi çeşitli bilgi kaynaklarına başvurulmaktadır (KÖHL 1993). Orman envanterinde hem meşcere sınırlarının belirlenerek alanının ölçülmesi ve hem de bu alan üzerindeki ağaç servetinin belirlenmesine yönelik bir envanter çalışmasını tamamen yersel ölçümlere dayanarak gerçekleştirmek mümkündür. Keza, meşcere sınırlarını hava fotoğrafı üzerinde belirledikten sonra, ağaç serveti tahminini ya arazide yapılan örneklemeyle, ya da yine hava fotoğrafları yardımıyla kestirmek de mümkündür. Nitekim, plan ünitesi bazında yapılan orman envanterinde, pahalı ve zaman alıcı yersel çalışmaları azaltmak ve envanter maliyetini düşürmek için uzun yıllardan beri hava fotoğraflarına baş vurulmaktadır. Ülkemizde meşcere tiplerini ayırmak ve ağaç servetini meşcere tipleri bazında daha güvenilir ve doğru olarak tahmin etmek için, 1963 yılından bu yana amenajman çalışmalarında hava fotoğrafları ve yersel ölçmeleri birleştiren kombine envanter yöntemleri kullanılmaktadır (ELER 2003).

Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, orman envanterinde bazı bilgilerin tamamı sadece yersel ölçmeler, sadece hava fotoğrafları, veya sadece topografik haritalardan sağlanabilmektedir. Orman envanterinde gerekli bilgilerin tek bir kaynaktan elde edilmesi hali "Tek Kaynaklı Envanter" olarak anılır. Bilgilerin hem yersel ölçmeler ve hem de hava fotoğrafı, uydu görüntüleri ya da kimi tematik haritalar vb. gibi birden fazla kaynaktan sağlanarak birlikte değerlendirilmesi haline ise, bilgi kaynağının sayısına bağlı olarak "İki Kaynaklı" ya da "Çok Kaynaklı Envanter" (Multi - Recourse Inventory) denir (ASAN 2000).

İster sadece yersel ölçümlere, ister sadece hava fotoğrafları üzerindeki ölçüm ve değerlendirmelere dayanılsın, orman envanterinde ilk iş olarak önce envanter ünitesindeki değişik meşcere ve orman kuruluşlarının sınır ve alanlarını belirleme, sonra da bu alanların her birisi üzerindeki ağaç servetini örnekleme yolu ile tahmin biçiminde gerçekleştirilen envanter biçimine; "Tek Kaynaklı ve İki Aşamalı Envanter" denir. Envanter ünitesindeki değişik meşcere tiplerinin alan ve sınırlarını belirleme biçimindeki ilk aşamayı hava fotoğrafları yardımıyla, bu alanlar üzerindeki ağaç servetlerini tahmine yönelik ikinci aşama çalışmalarını yersel ölçümler ile gerçekleştirme biçiminde yapılan orman envanteri ise; "İki Kaynaklı ve İki Aşamalı" olarak anılır. Benzer biçimde, büyük orman kompleksleri içindeki kaba sınıflamayı uydu görüntüleri, bunlar içindeki ayrıntılı sınıflamayı hava fotoğrafları, bu sınıflardaki servet envanterini de örneklemeyle dayalı yersel ölçümlerle saptama biçiminde, üç aşama halinde gerçekleştirilen envanter de; "Üç Kaynaklı ve Üç Aşamalı" orman envanteri olarak tanımlanır. Konuya ilişkin literatür incelendiğinde, envanter sürecindeki aşama adedinin kimi çalışmalarda iki, üç, dört vb. gibi sayılar ile belirtildiği, kimi çalışmalarda ise adet belirtilmeksizin "Çok Aşamalı (Multi-Phase)" biçiminde ifade edildiği görülmektedir (AKÇA ve ark. 1996; KENT ve ark. 1979; KÖHL/KUSHWAHA 1994).

Çeşitli ülkelerdeki envanter çalışmaları gözden geçirildiğinde, çok sayıda ve özellikteki uydu verilerinin özellikle ulusal orman envanteri başta olmak üzere büyük alanlı envanter çalışmalarında giderek artan bir oranda kullanıldığı görülmektedir. Orman envanterinde uydu verisi kullanımının yaygınlaşmasının nedenleri; hem bu bilgi kaynağının çok geniş alanlarda

ucuz, hızlı ve sürekli bilgi akışı sağlaması, hem de veri değerlendirme araçlarındaki teknolojik gelişmelerdir (TOMPPPO *ve ark.* 1999).

Ulusal orman envanteri sistemi ve kullanılan bilgi kaynakları, orman alanlarının büyüklüğü ve ülke yüzeyine dağılımına, ormancılık geleneğine ve topografik koşullara bağlı olarak, ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Örneğin, Almanya ve Avusturya'da sadece yersel ölçümlere dayanan bu çalışmalar, İsveç ve Finlandiya'da uydu verileri, hava fotoğrafları ve yersel ölçümleri kombine eden çok kaynaklı bir sisteme göre yürütülmektedir. Yüzölçümü küçük olan İsviçre'de ise, hava fotoğrafları ve yersel ölçümlerin kombine edildiği iki aşamalı bir envanter yöntemi kullanılmaktadır (ASAN 1999; KÖHL 2001).

Çok aşamalı örnekleme yöntemleri (multi phase sampling methods), bilgi kaynaklarının sayısı ve niteliklerine göre farklı şekillerde kombine edilmektedir. Bu kombinasyonların; Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Envanter Yöntemi (multi phase sampling method with regression estimator) ve Katmanlı Çok Aşamalı Envanter Yöntemi (multi phase sampling method for stratification) olarak iki değişik biçimde yapıldığı görülmektedir. (KENT *ve ark.* 1979; BOWDEN *ve ark.* 1979).

Bu makalenin amacı, çok aşamalı örnekleme yöntemlerini dünyada ve ülkemizde bu güne kadar yapılan araştırmaların ışığı altında tanıtmak ve bunların yakın gelecekte ülkemizde de başlanacak olan ulusal orman envanterinde kullanılabilen olanaklarını açıklamaktır. Belirtilen amacı gerçekleştirmek için konu iki ana bölüm halinde ele alınmıştır. Birinci bölümde çok aşamalı örnekleme yöntemlerinin genel algoritmaları örnekleriyle açıklanmıştır. Türkiye için önerilere ise ikinci bölümde yer verilmiştir.

2. ÇOK AŞAMALI ÖRNEKLEME YÖNTEMİNİN GENEL ESASLARI VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

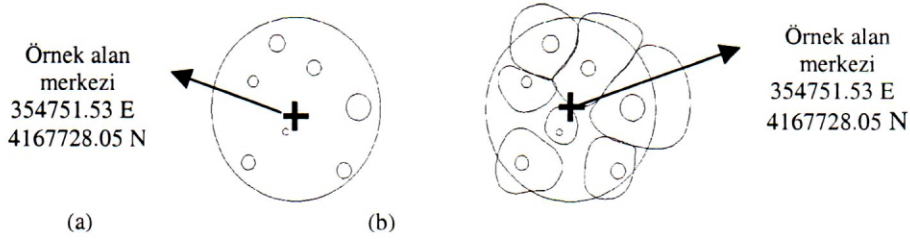
Çok aşamalı örneklemede genel yaklaşım, farklı aşamalardaki veri kaynaklarının her birinden envanterin belirli aşamalarıyla ilgili sayısal bilgiler çıkarılmasıdır. Birinci aşamada genellikle kolay ölçülebilen bağımsız değişkenlere ait değerler hesaplanır. En son aşama ise kestirilmek istenen bağlı değişken belirlenir. Birinci aşamada hesaplanan bağımsız değişkenlerin ölçümünün, hem daha aşağıdaki aşamalarda hesaplanan bağımsız değişkenlerden ve hem de son aşamada ölçülen bağlı değişkenden daha ucuz ve kolay olması gerekir. İlk aşamada ölçülen bağımsız değişkenler genellikle uzaktan algılama verilerinden çıkarılır. Eğer envanterde uydu verisi kullanılırsa, ilk aşamadaki bağımsız değişken; reflektans değerleri, hava fotoğrafı kullanılırsa tepe çapı, ağaç sayısı, ağaç boyu olur. En son aşamada hesaplanan bağlı değişkenler (ağaç serveti veya göğüs yüzeyi gibi) örnek alanlardan yersel ölçü ile elde edilir (KÖHL/ KUSHWAHA 1994; AKÇA *ve ark.* 1996).

Uygulamada çok aşamalı örnekleme yönteminin iki temel uygulama biçimi ile karşılaşılır ki bunlar; "Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Envanter Yöntemi" ve "Katmanlı Çok Aşamalı Envanter Yöntemi" dir. Kullanılan bilgi kaynaklarına göre çok aşamalı örnekleme yöntemini; iki aşamalı (Two-Phased veya Double sampling), üç aşamalı (Three phase sampling) ve hatta dört aşamalı (Four phase sampling) olarak uygulamak mümkündür (BOWDEN *ve ark.* 1979; PELZ 1985). Çok aşamalı örnekleme yönteminin iki temel uygulama biçimine ait ayrıntılar aşağıdaki kesimlerde açıklanmıştır.

2.1 Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Örnekleme Yöntemi

Bu yöntem, farklı aşamalarda saptanan bağımlı değişkenler ve yersel ölçmelerle belirlenen bağılı değişken arasında regresyon denklemi kurularak uygulanır. Regresyon denkleminin korelasyon katsayısının yeterli düzeyde olması, yöntemin uygulanabilmesi için temel koşuldur. Orman envanterinde, istatistik yönden bağılı ve bağımsız değişkenler arasında anlamlı ve güvenilir bir ilişkiden söz edebilmek için, ilişkinin derecesini gösteren korelasyon katsayısı R 'nin 0.70 den, yani belirtme katsayısı R^2 'nin 0.50 den büyük olması gerekmektedir (ASAN 1994; KALIPSIZ 1999).

Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminde, her iki ölçümünde konumsal olarak aynı noktadan yapılması önemlidir (KÖHL 1993). Örneğin, hacim ile hava fotoğrafı üzerinden belirlenen ortalama tepe çapı arasında bir ilişki aranması durumunda, hacmin hesaplandığı örnek alan ile tepe çaplarının hesaplandığı örnek alanının merkezinin aynı koordinat değerlerine sahip olması gerekmektedir (Şekil 1). Orman envanteri pratiğinde bu yöntemin daha çok iki aşamalı (Two-Phased veya double sampling with regression estimator) olarak uygulandığından, burada sadece bu yöntem tanıtılmıştır.



Şekil 1: a) Çapların ve boyların ölçülerek hacmin hesaplandığı yersel örnek alan b) aynı örnek alanın hava fotoğrafı üzerinde konumu ve ölçülen tepe çapları

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bağımsız ve bağılı değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olması gerekmektedir (KÖHL 1993; KÖHL/KUSHWAHA 1994; AKÇA ve ark. 1995; SHIVER/BORDERS 1996).

Bu yöntemde, birinci aşamada hava fotoğrafı veya uydu görüntüsü üzerinden örnek alanların n' adedi (orman alanlarına isabet eden) basit rasgele veya sistematik olarak seçilir. Seçilen n' adet örnek alanda kolay ölçülebilen bağımsız değişkenler x (örneğin, uydu verileri üzerinden reflektans değerleri veya hava fotoğrafları üzerinden tepe çapları) belirlenir. İkinci aşamada n' adet örnek alandan n adedi basit rasgele seçilerek, yersel ölçmelerle bağılı değişken y (örneğin, ağaç serveti veya biomas) hesaplanır (AKÇA ve ark. 1995; SHIVER/BORDERS 1996).



Şekil 2: Birinci aşamada ölçülen örnek alanlar (n') = + ; ikinci aşamada ölçülen örnek alanlar (n) =

Yöntemin formülleri aşağıda verilmiştir

$$\bar{y}_{dstr} = \bar{y} + b(\bar{x}' - \bar{x})$$

Burada;

\bar{y}_{dstr} ; Regresyon tahmini ile hesaplanan hektardaki ortalama ağaç serveti

\bar{y} ; İkinci aşamada hesaplanan ortalama ağaç serveti

\bar{x}' ; Birinci aşamada hesaplanan ortalama bağımsız değişken değeri

\bar{x} ; İkinci aşamada hesaplanan ortalama bağımsız değişken değeri

b ; Doğrusal regresyon katsayısı

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}} \text{ dir.}$$

$$\text{Toplam ağaç serveti; } \hat{T}_{dslr} = N \cdot \bar{y}_{dslr}$$

formülü yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada; N = Toplumun büyüklüğü (ha) dır.

Varyansın hesaplanması için değişik hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Shiver ve Borders (1996), Devries (1986) ya atfen aşağıdaki formülün kullanılmasını önermektedir.

$$S_{\bar{y}_{dslr}}^2 = \frac{S_y^2}{n} \left(1 - \left(\frac{n' - n}{n'} \right) \rho^2 \right)$$

$$\text{Burada; } S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}{n-1} \text{ ve}$$

$$\rho^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}}$$

$$S_{\hat{T}_{dslr}}^2 = N^2 S_{\bar{y}_{dslr}}^2$$

Bu yöntemde ilişki iki veya daha fazla (örneğin ağaç sayısı ve tepe çapı) bağımsız değişkenle, çoklu doğrusal regresyon denklemi olarak da hesaplanabilir. Bu durumda, Akça (1995), Khan ve Tripathi (1967) ye atfen varyansın;

$$S_{\bar{y}_{dslr}}^2 = \frac{S_y^2(1-R^2)}{n} \left[1 + \frac{n' - n}{n'} \frac{p}{n - p - 2} \right] + \frac{R^2 S_y^2}{n'} - \frac{S_y^2}{N} \text{ formülü yardımıyla}$$

bulunacağını belirtmektedir. Burada R=korelasyon katsayısını ve p=bağımsız değişken sayısını göstermektedir.

Bu yöntem kullanılarak, Almanya'da AKÇA ve ark. (1995) tarafından 1/35000 ölçekli hava fotoğrafları ile yapılan çalışmada, 133 yersel örnek alandan hesaplanan ağaç serveti,

doğruluk düzeyi düşürülmeden, regresyon tahmini ile iki aşamalı örnekleme yöntemiyle 74 örnek alan kullanılarak da belirlenebilmiştir.

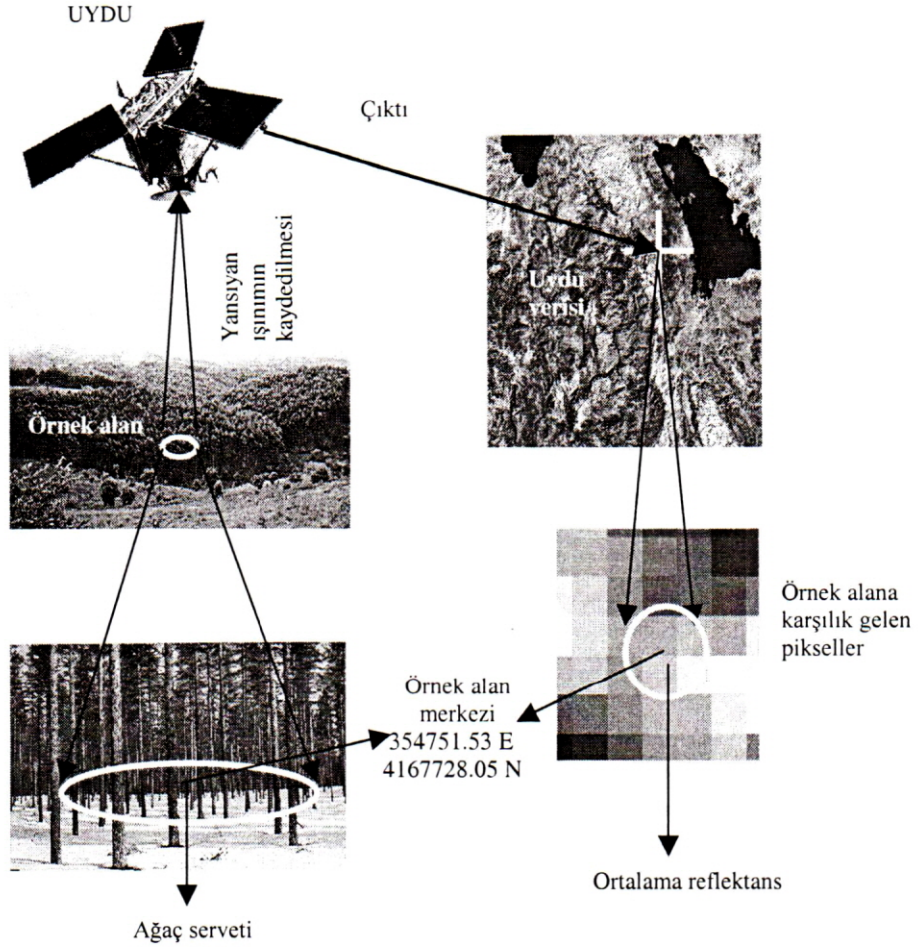
Uydu verileri ile ağaç servetini tahmin etmeye yönelik çalışmalarda, özellikle iğne yapraklı türlerden oluşan saf ormanlarda, reflektans değerleri ile hacim arasında kuvvetli ilişkiler ($R^2=78\%$, 79% ve 80%) bulunmuştur (PUHR/DONOGHUE 2000; CASTEL *ve ark.* 2002; SALVADOR/PONS 1998). Bu bulgular, ülkemizdeki saf ağaç türlerinden oluşan iğne yapraklı ağaç türlerimizde de kuvvetli ilişkiler bulunabileceğini göstermektedir. Eğer istatistiksel olarak yeterli derecede ilişki elde edilirse, Regresyon Tahmini ile İki Aşamalı Örnekleme Yöntemi kullanılarak, Kızılçam, Karaçam, Sarıçam gibi geniş alanlarına sahip ağaç türlerimizde ulusal orman envanteri amacıyla ağaç serveti kestirmek mümkün olabilecektir.

Bu yöntemin en önemli sakıncası, her iki aşamada ölçülen örnek alanın aynı coğrafi koordinatlarda olmasıdır. Bu durum pratikte her zaman mümkün değildir. Hava fotoğrafı veya uydu verisinin geometrik düzeltilmesinden kaynaklanan hatalar ile örnek alanın arazide tam yerinde ölçülebilmesi, bunun en önemli nedenleridir. Bazı araştırmacılar, uydu verilerinde bu hatayı en aza indirebilmek için, örnek alana karşılık gelen noktadaki komşu piksellerin ($3 \times 3=9$ veya $4 \times 4=16$) ortalamasını almakta ve ilişkiyi bu değerlere göre hesaplamaktadır (Şekil 3) (YEŞİL *ve ark.* 1999). Bunun yanında, uydu görüntüsünde segmentasyon algoritması kullanarak çeşitli katmanlar ayırmak ve örnek alan hangi katmana isabet ettiyse o katmanın ortalama reflektans değerini kullanmak da diğer bir yöntemdir (ÖZDEMİR 2003). Ayrıca, yersel örnek alanların merkezinin bulunmasında küresel konum belirleyiciler (GPS) büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bağımsız değişken ile bağlı değişkenin korelasyon katsayısının yeterli düzeyde olması halinde, "Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminin", bölgesel ve ulusal bazda yapılan orman envanterlerinde kullanılmasının uygun olduğu belirtilmektedir (PELZ 1985; KÖHL 1993; KÖHL *ve ark.* 2000).

2.2 Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme Yöntemi

Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminin, öncelikle kolay ölçülebilen bağımsız değişken ile bağlı değişken arasındaki korelasyonun yüksekliğine bağlı olması, yöntemin pratikte uygulanışını kısıtlamaktadır. Bundan dolayı, bağımsız değişken ile bağlı değişken arasında ilişkinin olmadığı ve çok sayıda bağımsız değişkenin elde edilmesinin gerektiği durumlarda, Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme yönteminin uygulanması önerilmektedir (KÖHL 1993). Bu yöntemde bağımsız değişken, sadece bağlı değişkenin yer aldığı katmanları belirten gösterge değişkeni olup, bunun için herhangi bir ölçü yapılmamaktadır. Bu yöntem herhangi bir regresyon ilişkisi gerektirmedikinden, hava fotoğrafı ve yersel ölçmelerle iki aşamalı; uydu görüntüsü, hava fotoğrafı ve yersel ölçmelerle üç aşamalı; ve hatta uydu görüntüsü, büyük ölçekli hava fotoğrafı, küçük ölçekli hava fotoğrafı ve yersel ölçmelerle dört aşamalı olarak uygulanabilmektedir. Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminin uygulama prosedürü ve kullanılan formler, BOWDEN *ve ark.* 1979 tarafından kaleme alınan "Multi Level Sampling Designs for Resource Inventories" adlı eserde açıklanmıştır. Makale hacmini genişletmemek için burada sadece Katmanlı Üç Aşamalı Örnekleme deseninin kurulma biçimi ile, bunlara ilişkin formlere yer verilmiştir.



Şekil 3 : Bir örnek alanın yerdeki ve uydü verisi üzerindeki konumu

Katmanlı Üç Aşamalı Örneklemede, birinci aşamada n adet envanter ünitesi belirlenir ve toplum belirli kurallara göre I adet homojen katmana ayrılır ve her bir katmana isabet eden ünite sayısı belirlenir. İkinci aşamada birinci aşama katmanlarının hepsi için ayrı ayrı belirlenecek katsayılar yardımıyla, ikinci aşamada alınacak ünitelerin sayısı hesaplanır. Birinci aşama katmanlarının tekrar kendi içinde homojen alt katmanlara ayrılmasıyla oluşan yeni ikinci aşama katmanlarına isabet eden ünitelerin sayıları belirlenir. Üçüncü aşamada, ikinci aşamanın katmanları tekrar örneklenir ve son aşamada ölçülecek üniteler belirlenir. En son seçilen ünitelerde yersel ölçmelerle amaçlanan dendrometrik ölçmeler yapılır. Yöntemin formülleri aşağıda verilmiştir.

İlk aşamada, n adet ilk aşama ünitesi rasgele olarak belirlenir; toplum belirli kurullarla I adet homojen katmana ayrılır ve her katmana düşen n_i adet ilk aşama ünitesi hesaplanır.

$$n = \sum_{i=1}^I n_i$$

İlk aşama katmanlarının herbiri için, belli bir örnekleme katsayısı (u_i) kullanılarak, ikinci aşama örnek sayıları hesaplanır. Burada; $m_i = u_i n_i$; $i = 1, 2, \dots, I$ 'dir.

İkinci adım olarak, her bir katmandaki m_i adet ünite tekrar alt katmanlara ayrılarak, j_i adet ikinci aşama katmanına ayrılır. j_i ; ikinci aşamadaki katman sayısı (i 'nci birinci aşama katmanında)'dır.

Sonuç olarak, i 'nci birinci aşama katmanındaki j 'inci ikinci aşama katmanında m_{ij} adet ünite belirlenir. $m_{ij} = i$ 'nci birinci aşama katmanındaki, j_i nci ikinci aşama katmanında alınan ünite sayısıdır.

$$j = 1, 2, \dots, j_i; i = 1, 2, \dots, I \text{ ve } m_i = \sum_{j=1}^{j_i} m_{ij}; i = 1, 2, \dots, I \text{ 'dir.}$$

Üçüncü aşamada, ilk adım olarak ikinci aşamada olduğu gibi yine örnek sayısını belirlemek amacıyla her bir ij katmanı için v_{ij} katsayıları hesaplanır. Böylece her bir ij katmanından üçüncü aşamada b_{ij} adet ünite seçilir.

$$j = 1, 2, \dots, j_i \text{ ve } i = 1, 2, \dots, I \text{ için } b_{ij} = v_{ij} m_{ij}$$

Üçüncü aşamanın son adımı y_{ijk} lerin yani ağaç servetinin ve ölçülmesidir. $k = 1, 2, \dots, b_{ij}$; $j = 1, 2, \dots, j_i$ ve $i = 1, 2, \dots, I$ 'dir. Toplumun ortalama ağaç serveti;

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^I w_i \sum_{j=1}^{j_i} w_{ij} \bar{y}_{ij} = \sum_{i=1}^I w_i \bar{y}_i \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

$$\text{Burada; } w_i = \frac{n_i}{n}, w_{ij} = \frac{m_{ij}}{m_i}, \bar{y}_{ij} = \frac{1}{b_{ij}} \sum_{k=1}^{b_{ij}} y_{ijk}, \bar{y}_i = \sum_{j=1}^{j_i} \frac{m_{ij}}{m_i} \bar{y}_{ij} \text{ 'dir.}$$

Toplam ağaç serveti; $\hat{\tau} = N\hat{\mu}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada N toplumun ünite sayısıdır. Varyans;

$$\hat{V}(\hat{\mu}) = (1-h)^{-1} \left[h \sum_{i=1}^I w_i (\bar{y}_i - \hat{\mu})^2 + \frac{h}{n} \sum_{i=1}^I (n_i - 1) s_i^{2*} + \sum_{i=1}^I [w_i (w_i - h) \hat{V}_i] \right]$$

formülü ile bulunur. Burada,

$$h = \frac{N-n}{n(N-1)}, s_i^{2*} = \frac{\hat{V}_i - \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{j_i} w_{ij} s_{ij}^2 \left(\frac{m_{ij}}{b_{ij}} - 1 \right)}{\frac{1}{m_i} - \frac{1}{n_i}}, s_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^{b_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2}{b_{ij} - 1}$$

$$\hat{V}_i = \frac{m_i(n_i-1)}{(m_i-1)n} \left\{ \sum_{j=1}^{j_i} w_{ij} s_{ij}^2 \left(\frac{1}{m_i v_{ij}} - \frac{1}{n_i} \right) + \frac{n_i - m_i}{m_i(n_i-1)} \left[\sum_{j=1}^{j_i} s_{ij}^2 \left(\frac{w_{ij}}{n_i} - \frac{1}{m_i v_{ij}} \right) + \sum_{j=1}^{j_i} (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i)^2 \right] \right\}$$

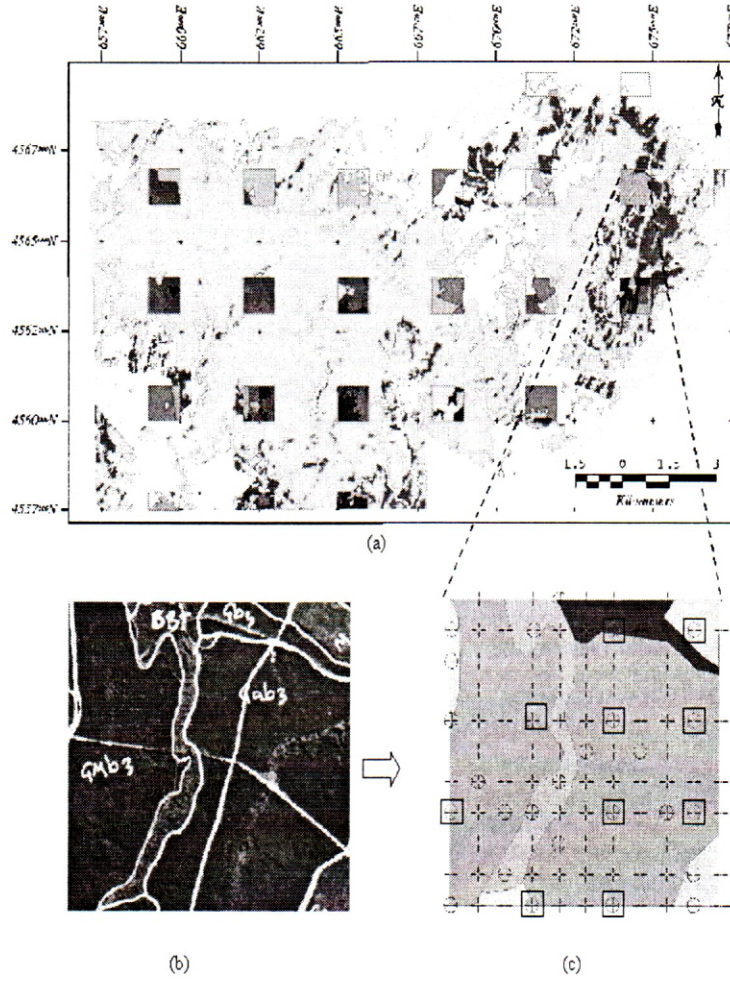
dir.

Toplumun tamamının varyansı da; $\hat{v}(\hat{\tau}) = N^2 \hat{v}(\hat{\mu})$ formülü yardımıyla hesaplanmaktadır (KENT ve ark. 1979; BOWDEN ve ark. 1979).

Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminin uygulanişıyla ilgili bir çalışma. KÖHL ve ark. (1994) tarafından Hindistan'da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Landsat TM, iki değişik ölçekte hava fotoğrafları ve yersel ölçmelerin kombine edildiği, katmanlı dört aşamalı örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Birinci aşamada uydu görüntüsü üzerinde ormansız alanlar, herdem yeşil, yarı-herdem yeşil, nemli yapraklı ve kurak yapraklı ormanlar, Tik ve Kahve plantasyonları olarak 7 sınıf ayrılmıştır. İkinci aşamada, 1/20000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak orman alanları 5 yoğunluk sınıfına bölünmüştür. Üçüncü aşamada, 1/10000 ölçekli hava fotoğrafları üzerinden boy, ağaç sayısı ve tepe çapı ölçülmüştür. Bunlardan ağaç boyu stratifikasyon için kullanılmış ve üçüncü aşama, ağaç boyuna göre 5 katmana ayrılmıştır. Dördüncü ve son aşamada ise, yersel ölçmelerle göğüs çapı, boy, ağaç türü gibi meşcere parametreleri tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, toplam ağaç serveti 147 milyon m³ ve standart hatası da 14 milyon m³ bulunmuştur. Buna göre ağaç serveti 119 milyon m³ ve 175 milyon m³ aralığında tahmin edilmiştir. Sonuç olarak 4 aşamalı örnekleme yönteminin pratikte uygulanabileceği, ayrıca para ve emek tasarrufu da sağlayacağı bildirilmiştir. Bu yöntemin özellikle büyük orman alanları için uygun olduğunun altı çizilmiştir.

Yöntemin uygulaniş ile ilgili diğer bir örnek ÖZDEMİR (2003) tarafından verilmiştir. İstanbul-Belgrad ormanında gerçekleştirilen çalışmada, Katmanlı Üç Aşamalı Örnekleme yönteminin nasıl uygulanacağı küçük bir alanda model olarak gösterilmiştir (Şekil 4). Birinci aşamada, Landsat uydu verisi üzerinde test alanı geniş yapraklı, iğne yapraklı, açık alanlar ve su olarak dört sınıfa ayrılmıştır. İkinci aşama üniteleri, 1 x 1 km büyüklüğünde ve 3 x 3 km aralık mesafe ile tüm çalışma alanına sistematik olarak dağıtılan 1/15000 ölçekli hava fotoğrafları üzerinden basit rasgele olarak seçilmiştir. İlk hava fotoğrafının yeri rastgele seçilmiş ve sistem şebekesi bu rastgele bireye dayandırılmıştır.

Geniş Yapraklı birinci aşama katmanı: Gençlik (a çağındaki geniş yapraklı türlerden oluşmuş meşcereler), Sırlıklık (ab ve b çağındaki geniş yapraklı türlerden oluşmuş meşcereler), İnce ağaçlık (bc ve c çağındaki geniş yapraklı türlerden oluşmuş meşcereler), Orta ağaçlık (cd ve d çağındaki geniş yapraklı türlerden oluşmuş meşcereler), Baltalık ve Açıklık olarak 6 adet alt katmana ayrılmıştır.



Şekil 4: a) Birinci aşama için sınıflandırılmış uydu görüntüsü, b) ikinci aşama için seçilen 1 x 1 km büyüklüğündeki hava fotoğrafı, c) + birinci aşama üniteleri, O; ikinci aşama üniteleri; □; üçüncü aşamada ölçülecek örnek alanlar