

ORMANCILIKTA KULLANILAN RADAR ALTIMETRE¹⁾

Yazan

U. NIELSEN

Orman Araştırma Enstitüsü
Ottawa, Ontario, Kanada

Çeviren

Prof. Dr. Tahsin TOKMANOĞLU

İ. Ü. Orman Fakültesi
Geodezi ve Fotogrametri
Kürsüsü

Giriş

Modern ormancılık envanteri, matematik istatistikden ve havadan çekilen fotoğraflardan geniş çapta faydalanılarak yapılmaktadır. Çok yeni olan bu metotlar da, bir hayli arazi çalışmasına ihtiyaç göstermektedir. Sürati arttırmak için, arazi çalışmalarını minimuma indiren yeni metotların geliştirilmesine çalışılmakta ve bu gayeyle araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar, numune alma tekniğinin daha etkili hale getirilmesinin zorunlu olduğunu göstermektedir. Bu sebeple de çalışmalar, bu konu üzerine yöneltilmiştir. Numunelerin daha etkili hale getirilmesi, numunelerin temsil yeteneklerinin arttırılması demektir. Bu gaye ise, numuneler arasındaki farkların azaltılmas ile sağlanabilir. Bunun için de, fotoğraf interpretasyonundaki kapasitenin arttırılması gerekir. Arazi çalışmalarını daha fazla azaltabilmek için, büyük ölçekli hava fotoğrafları üzerinde numune alma tekniğinin geliştirilmesine çalışılmıştır. Özellikle 1/1000 - 1/3000 ölçekli fotoğraflar üzerinde durulmuştur. Fotoğrafların özelliklerini belirten değerler bilinmektedir, ağaçlara ait değişgen-

¹⁾ Kanada Orman Araştırma İstasyonu tarafından yayınlanan aylık raporların, Ocak 1974 tarihli sayısında yer almıştır. Ormancılıkta kullanılan hava fotoğraflarından geniş çapta faydalanabilmek için, fotoğrafın ölçeğini sıhhatli bir şekilde bilmek gerekir. Bu yazıda tanıtılmaya çalışılan sistem, fotoğraf uçağına yerleştirilmek ve her fotoğrafın, çekildiği anda, araziden itibaren uçuş yüksekliğini ölçerek fotoğrafın köşesine yazmaktadır. Sistem ayrıca, uçuş çizgisinin altındaki arazinin boyuna profilini otomatik olarak çizmektedir. (Çeviren).

ler de sıhhatli şekilde ölçülebilmektedir²⁾. Kippen ve Sayn - Wittgenstein (1964) ile Brun (1972) ve daha başkaları bu konuları açıklamışlardır.

Fotoğraf ölçeğinin (veyahut uçuş yüksekliğinin) sıhhatli bir şekilde bulunması, bir çok araştırmaya konu olmuştur³⁾. Fotoğrafların ölçeklerini bulmak gayesiyle uygulanan metotların başlıcaları şunlardır: Arazide mesafe alıp ölçmek, havai nirengi şebekesi kurmak, fotoğrafı harita ile veyahut küçük ölçekli fotoğraflarla karşılaştırmak, altimetreden faydalanmak. Bunlar çok zaman alan veyahut yeter derecede sıhhat sağlamıyan metotlardır⁴⁾. Yeni geliştirilen 2 metot, ihtiyaca yetecek sıhhatte sonuç elde edilmesini sağlamaktadır⁵⁾. Lyons tarafından geliştirilen bu metotlarda, fotoğraf çiftinin çekildiği noktaları birleştiren doğrunun (hava bazının) değişmez olduğu kabul edilmektedir. Kanada Orman Servisine bağlı bulunan Orman Amenajman Enstitüsü, Fotogrametrik Araştırma Seksiyonu'nun ve Milli Araştırma Merkezine bağlı bulunan Uygulamalı Fizik Şube'sinin önerilerine uyarak, Lyons tarafından geliştirilen Laser ışını ile çalışan Altimetrelerin ve Radar Altimetrelerin sağlıklı bileceği faydalar, uygulama alanına çıkışlarının hemen ardından araştırılmıştır. Her iki aletin faydalı ve sakıncalı tarafları, Sayn - Wittgenstein'in 1965 yılında yalnız olarak 1968 de Aldred ile birlikte yaptıkları yayınlarda bulunmaktadır.

Özel bir gaye ile yapılmış olan Radar Altimetre, radar ışınlarının bitki topluluklarının içersine girebilmesi ve arazi yüzeyine çarptıktan son-

²⁾ Ağaçlara ait değişgenler, tepe çatısının çapı ve ağaç yüksekliğidir. Bu değişgenler stereoskopik model üzerinde sıhhatli bir şekilde ölçülmekte ve bunlara dayanılarak ağaç veya meşcere hacimleri hesaplanmaktadır (Çeviren).

³⁾ Arızalı arazilerin fotoğrafları için verilen ölçekler, çok kaba değerlerdir. Örneğin ormancılık işlerimizde kullandığımız ve ortalama ölçeği 1/20 000 olarak verilen hava fotoğrafları üzerinde yaptığımız ölçek araştırmaları sonunda ölçeğin 1/10 000 ile 1/35 000 arasında değiştiğini saptamış bulunuyoruz. Bu durum 1/20 000 rakamına göre hesap yapmanın ne kadar sakıncalı olduğunu ortaya koymaktadır. (Çeviren).

⁴⁾ 3 No'lu dip notda açıklanan denemeyi, fotoğrafı 1/25 000 ölçekli harita ile karşılaştırarak yaptık. Aynı uzunlukları fotoğraf ve haritada bularak birbirine oranladık fazla zaman almadı. (Çeviren).

⁵⁾ Fotoğrafın çekildiği anda, uçağın yerden yüksekliği sıhhatli şekilde ölçülebildiği takdirde, en sıhhatli ölçek elde edilir. Bu gayeyle, altimetrelerin en sıhhatlisi olan ve Radar ışını ile çalışan Radar Altimetrelerden faydalanma yoluna gidilmiştir (Çeviren).

ra geriye dönmesi özelliğinden faydalanmaktadır⁶⁾. Sistem, çeşitli ihtiyaçlara göre de ayarlanabilmektedir. Milli Araştırma Merkezinin Radyo ve Elektrik Mühendisliği Şubesi, Orman Amenajman Enstitüsünden sonra bu özel altimetreyi geliştirmek için çalışmalar yaptı. (Aldred ve Sayn - Wittgenstein 1968). Çalışmalar sonunda, 300 - 600 m. yükseklikten uçan bir uçakla arazi arasındaki düşey mesafeyi $\% \pm 2$ doğrulukla ölçme olanakları elde edildi. (Bu sıhhat ölçmelerin $\%95$ ini kapsamaktadır). İlk deneme çalışmalarından sonra, gene ölçmelerin $\%95$ ini kapsamak şartıyla, sıhhat derecesinin $\% \pm 1$ olmasını sağlamak gayesiyle araştırmalara başlandı. İlk çalışmada, ağaçların üzerine çarparak dönen enerjiden faydalanılmıştı. Bu defaki çalışmada ise, arazi yüzeyine çarparak dönen enerjiden faydalanma yoluna gidilmiştir⁷⁾. Ayrıca, Altimetrenin gösterdiği değerlerin devamlı olarak bir film üzerine işlenmesi ve aletin ağırlığının azaltılarak bir küçük uçağa monte edilmesinin sağlanması istenmiştir. İlk yapılan alet 1966 yılında denenmiştir. Alet bir çok değişikliğe uğradıktan sonra, 1970 yılında son şeklini almıştır. Bu raporun gayesi son yapılan denemeleri açıklamaktır. Özellikle, Milli Araştırma Merkezinin Fotogrametrik Araştırmalar Şubesiyle birlikte yapılan denemeler üzerinde durulmuştur. Bu denemelerde, arızalı araziler üzerinde uçulurken, altimetrenin gösterdiği değerlerin sıhhat dereceleri araştırılmıştır. Fotogrametrik yoldan toplanan bilgiler kıymetlendirilirken, başlangıçta akla gelmeyen çeşitli güçlüklerle karşılaşılabilir. Çıkabilecek güçlükler ve bunların bertaraf edilmesini beklediğimizden, bu raporumuz uzun süre gecikti.

Sistemin Tanıtımı

Sistemin ana parçaları ve fonksiyonları şunlardır.

1 — *Transmitter*⁸⁾ : Saniyede 2000 adet kesiti Gauss eğrisi şeklinde enerji katarı üretir ve gönderir. (Ek 1 e bakınız. Şekil 8). Enerji Katarındaki en büyük kuvvet 2 KW dir. Bir katarın süresi saniyenin bindebi-

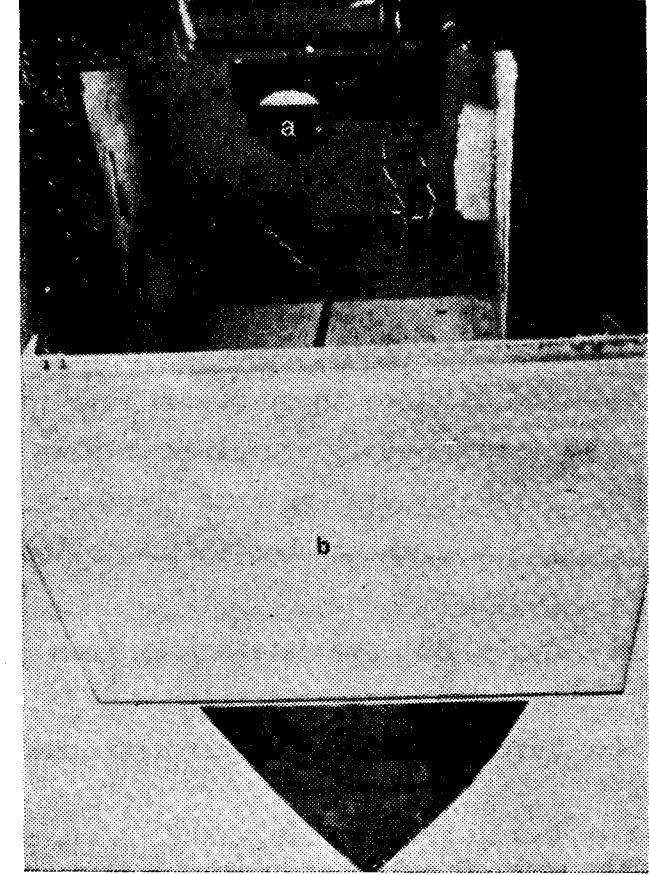
6) Normal Altimetreler hava basıncından faydalanırlar ve denizden itibaren yükseklik ölçerler. Radar altimetreleri ise, Radar ışınlarının arazi yüzeyine çarpıp dönmeleri için geçen zamanı ölçerek çalışmaktadırlar ve araziden olan yüksekliği bulmaktadırlar (Çeviren).

7) Ağaçların üzerine çarpıp dönen radar dalgaları saptandığı takdirde, uçuş yüksekliği ağaçların boyu kadar eksik bulunur. Ağaçlara çarpıp dönen dalgalar ekarte edilerek, arazi yüzeyinden dönenler saptanırsa, uçuş yüksekliği sıhhatli şekilde bulunur (Çeviren).

8) Transmitter Yerine «Radar dalgalarını üreten alet» denilebilirdi. Uluslararası karakterde olan İngilizce ismini aynen kullanmayı daha uygun bulduk. (Çeviren)

rinin yarısı kadar tutmaktadır. Dalga boyları 7,4 cm dir. Dalgaların frekansı 4,2 Gigahertz'dir⁹⁾.

2 — *Anten* : Uçağın altına monte edilmiştir. Enerji katarlarının uçaktan etrafa yayılması ve arazi yüzeyinden geri dönenlerin toplanması, anten aracılığı ile olur. Anten ya 1 No.'lu şekilde görüldüğü gibi bir

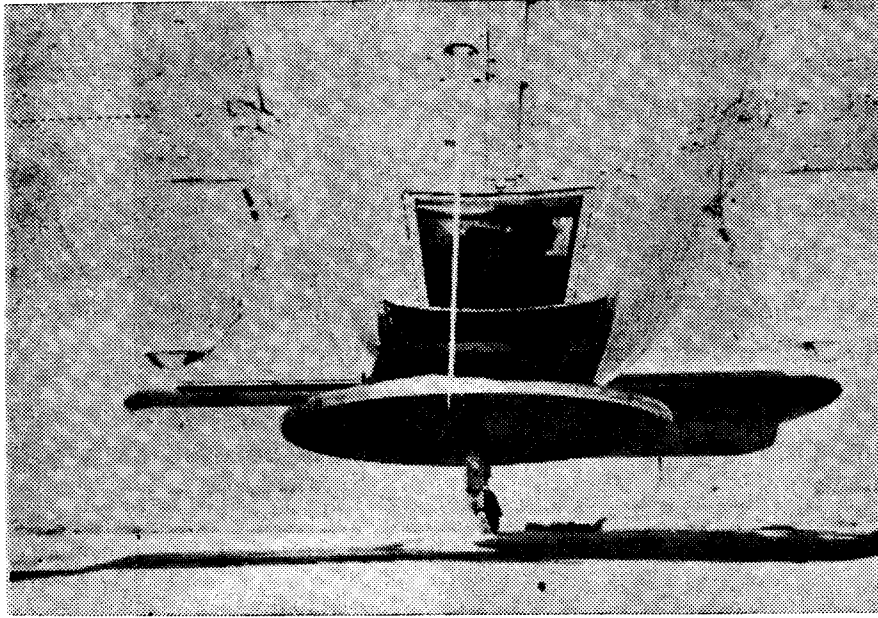


Şekil 1 : Uçağın alt kısmının görünüşü. Uçak, De Havilland Beaver modelidir. a — İstikşaf gayesiyle kullanılan 70 mm lik Vinten marka fotoğraf makinesi. b — Şeritlerden yapılmış anten.

9) Bir Gigahertz, bir milyar tane dalga demektir. Radar dalgalarının bir saniyede 300 000 Klm yol aldığı ve dalga boyunun 7,14 cm olduğu dikkate alınarak frekans şöyle hesaplanır :

300 000 Klm/7,14 cm = 4,2 milyar = 4,2 Gigahertz. (Çeviren).

kenarı 36 inch (90) cm büyüklüğünde kare şeklinde olur ve çıplak telden yapılır. Veyahutta 2 No'lu şekilde görüldüğü üzere çapı 36 - 44 inch (90 - 110 cm) büyüklüğünde paraboloid şeklinde olur. Paraboloid şeklinde ve 36 inch (90 cm) büyüklüğündeki bir antenin enerji gönderme gücü, aynı büyüklükteki diğer antene kıyasla yaklaşık olarak 3 mislidir.



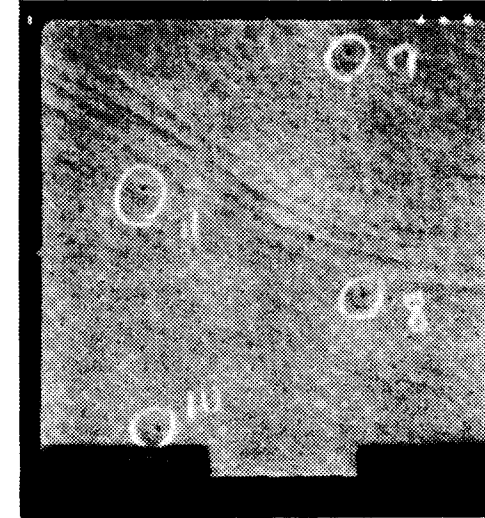
Şekil 2 : Çift motorlu, Dornier modeli bir uçağa monte edilmiş, paraboloid şeklinde anten.

3 — *Duplexer* : Transmitter radar dalgası gönderirken, alıcıya herhangi bir dalga gelmesine engel olur.

4 — *Alıcı ve devamlı olarak zaman yazıcı* : Alıcı gelen dalgaları toplar ve büyütür, periyodik olarak zaman yazıcı da bu dalgaların geldiği zamanları saptar ve bunlara göre mesafeyi hesaplayarak verir. Ormancılıkta kullanılan radar altimetre ile, diğer normal altimetrelere arasındaki fark, bu iki aletten ibarettir. Bunların birincisi araziden dönen radar dalgalarını toplar, diğeri de zamanı ölçerek mesafeyi hesaplar. Aletlerin prensipleri, ek 1 de açıklanmıştır.

5 — *Output* : Sistemin son aletidir. Bulunan sonuçlar, yani uçuş yükseklikleri bir kâğıt şerit üzerine devamlı olarak grafik halinde çizil-

mektedir. Uçak, yatay bir doğru istikametinde uçtuğu takdirde, çizilen grafik, uçuş istikametindeki arazi kesiti olmaktadır. Uçak iniş çıkışlar yaparsa, grafik arazi kesiti olma özelliğini kaybeder. Son gelişmelerle, uçaktaki iniş çıkışları altimetrelere saptamak ve buna göre, çizilen grafiği düzelterek arazi profilini elde etme olanağı sağlanmıştır. Kâğıt şerit üzerine grafiği çizen kalem ile, fotoğraf makinesinin deklanşörü arasında bir bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantı sayesinde, çekilen fotoğraflarla çizilen grafik arasında bir bağlantı sağlanmaktadır. Yazıcı bir voltmetreden faydalanarak çalışan diğer bir sistem, çizilen grafikteki değerleri rakkam olarak vermekte ve operatörün bunlardan faydalanmasını sağlamaktadır. Bu ikinci sistem, fotoğraf makinesinin üzerine yerleştirilmiştir. Saptanan değerlerin bir görüntüsü, küçük mercekler yardımıyla, makine içersindeki filmin üzerine düşürülmektedir. Çekilen her fotoğrafın bir köşesinde bu değerler görülmektedir¹⁰⁾, şekil (3).

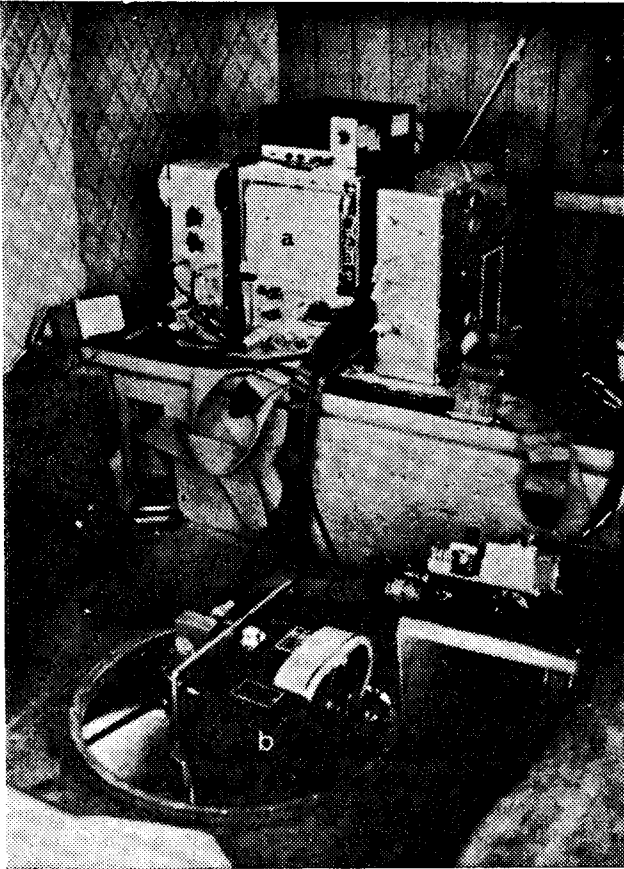


Şekil 3 : Çekilen fotoğrafların solalt köşesinde, fotoğrafın çekildiği yükseklik okunmaktadır.

¹⁰⁾ Uçak yatay bir doğru üzerinde uça da, arazideki yükseklik farklarından dolayı, uçak ile arazi arasındaki düşey mesafe devamlı olarak değişecektir. Her fotoğrafın çekildiği anda, uçak ile, fotoğraf, makinesinin optik ekseninin arazide gösterdiği nokta arasındaki mesafe ölçülmekte ve bulunan sonuç fotoğrafın kenarına yazılmaktadır. Fotoğraf makinesinin optik eksenini düşey olduğu zaman bu rakkam uçuş yüksekliğine eşittir. Objektifin odak mesafesine ve fotoğraf kenarına yazılan uçuş yüksekliğine dayanılarak hesaplanan ölçeğin, çok daha sıhhatli olacağı açıktır. Ölçek şöyle hesaplanır :

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (\text{Çeviren}).$$

İlk yapılan denemeler ve alınan sonuçlar, Aldred ve Sayn - Wittgenstein (1968), Nielsen (1970), Nielsen ve Sayn - Wittgenstein (1970) tarafından yayınlanmıştır. Tropik muntıkada yapılan bir deneme çalışmasının sonuçları 1968 yılında Aldred ve Sayn - Wittgenstein'in yayınladığı raporda bulunmaktadır. Deneme programında, havadan yapılan ölçmeler bulunduğu gibi, yerden veya bir kule üzerinden yapılan ölçmeler de bulunmaktadır. Normal kullanma şekli, sistemin bir uçağa yerleştirilmesi (şekil 4) ve ölçmenin havadan yapılmasıdır. Orman Amenajman Enstitüsü'nün geliştirdiği bu sistem 1968 yılında Aldred ve Sayn - Wittgenstein tarafından bir helikoptere yerleştirilerek denenmişti. Daha sonra, şu uçak-



Şekil 4 : Ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrenin ilk modeli, Sistem Dornier modeli bir uçağa monte edilmiştir.

a — Altimetrenin ekranı

b — İstikşaf gayesiyle kullanılan 700 mm lik Vinter marka fotoğraf makinesi.

lara yerleştirilerek denemeler yapıldı: Çift motorlu Beechcraft, çift motorlu Dornier, Havilland Beaver, Turboprop Beaver ve DC 3, daima, çektiği fotoğrafların bir kenarı 70 mm olan ve istikşaf işlerinde kullanılan Vinten marka fotoğraf makinesile birlikde kullanılmıştır.

Deneme çalışmaları uçakla arazi arasındaki mesafenin, nasıl bir sıhhat derecesile bulunduğunu saptayacak şekilde planlanmıştır. Uçaktan gönderilen radar dalgalarının vejetasyon içerisinden geçmesinin etkilerini bertaraf etmek gayesiyle ilk denemeler açık arazide yapılmıştır. Düz bir arazi üzerine çeşitli levhalar yerleştirilmiş ve aralarındaki mesafelerle yükseklik farkları yersel ölçme ile bulunmuştur. Sonra bu arazi üzerinde uçularak, sıhhat araştırmaları yapılmıştır (şekil 3). Fotoğraflar üzerinde ölçme yapılarak levhalar arasındaki mesfeler bulunmuş ve arazideki karşıtlarına bölünerek ölçekler elde edilmiştir. Fotoğraf makinesinin odak mesafesi de bilindiğinden, uçuş yükseklikleri hesaplanmış ve sistemin verdiği sonuçla karşılaştırılmıştır. Deneme uçuşlarının bir kısmı düz ve çıplak araziden veyahut su üzerinden kışın yaprağını döken ağaçların meydana getirdiği sık meşcerelerin üzerine geçecek şekilde yapılmıştır. Denemelerden elde edilen sonuçlara göre : Düz arazi üzerinde yapılan uçuşlardaki yükseklik ölçmelerinin % 95 indeki hata oranı, uçuş yüksekliğinin %1 den daha azdır. Arızalı arazide ve ormanla kaplı yerlerde bu oran %2 e çıkmaktadır. Orman, uçak ile arazi arasındaki yüksekliğin ölçülmesine bir etki yapmamaktadır. Doğu Kanada'da yapılan denemeler bunu göstermiştir.

Guatemala'nın tropik ormanlarında denemeler yapılmış, fakat uçaktan gönderilen enerji dalgalarının ormanın içerisine giremediği görülmüştür. Denemelerde, uçuş yüksekliğinin daima 22 feet (6,6 m) eksik bulunduğu anlaşılmıştır. Bundan sonra tropik muntıkların koşullarına uygun yeni bir sistemin geliştirilmesine çalışılmıştır. Yeni sistem, 1973 yılının başında Surinam'da denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ayrı bir rapor halinde yayınlanacaktır.

İngiliz Kolombiyanın sarp arazileri üzerinde, rutubetli havada yapılan denemeler, başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Antenden gönderilen enerji dalgaları, dönüp antene gelmemiştir. Uygulanan 2 voltluk ceryan 0,75 volta indirilerek (ek 1 ve bakınız), denemeler tekrarlanmıştır. Yapılan değişiklik sonunda otomatik olarak çalışan kontrol mekanizmasının sağladığı faydalardan 3 tanesinin değiştirilebildiği görülmüştür.

1 -- Yapraklar üzerine çarparak dönen radar dalgalarının bertaraf edilmesi,

2 — Antenin genişliğini azaltarak, radar dalgalarının meydana getirdiği huzmeyi inceltmek¹¹⁾.

3 — Sistemin sıhhat derecesini arttırmak.

Yapılan birçok denemeden faydalanılarak, aletin şekli değiştirilerek gelişmeler sağlanmıştır. Yapılan değişiklikler ve sağlanan gelişmeler, bu güne kadar yayınlanan broşürlerde bulunmaktadır. Yapılan değişikliklerin en önemlisinin, sisteme uçuş yüksekliklerini sıhhatli şekilde ölçen ve çizilen grafiği buna göre düzelten aletin ilâve edilmesinin olduğu yukarda belirtilmiştir. Aletin daha etkili hale getirilmesi ve arızalı arazi üzerinde sıhhatli sonuç vermesinin sağlanması, gelişmenin diğer aşamalarıdır. (Ek 2 ye bakınız).

TABLO 1

Lineer Regresyon denklemleri, X = Arazi ile uçak arasındaki yükseklik, Y = Altimetrenin verdiği değer

	Ölçme Adedi		Bulunan değerlerin standart hatası
a) Alçak uçuşlarda altimetrenin çalışması (240 - 700 m veya 800 - 2300 feet)			
Bütün ölçmeler	130	$y = 13.96 + 0.96130x$	15.01 m
Eğiklik 10.0 derece ¹⁾	120	$y = - 6.01 + 0.99765x$	4.93
Eğiklik 7.5 derece	117	$y = - 5.35 + 0.99652x$	4.89
Eğiklik 5.0 derece	114	$y = - 5.04 + 0.99601x$	4.89
Eğiklik 2.5 derece	75	$y = - 5.72 + 0.99581x$	4.27
b) Yüksek uçuşlarda Altimetrenin çalışması (640 - 1100 m veya 2100 - 3600 feet)			
Bütün ölçmeler	62	$y = - 34.29 + 1.01564x$	5.07
Eğiklik 2.5 derece ²⁾	47	$y = - 40.84 + 1.02242x$	5.09
1) Uçakdaki eğikliğin 10 dereceden daha büyük olduğu durumlar, uçuş şeritlerinin başlangıç kısımlarında bulunmaktadır.			
2) 5 dereceden daha büyük eğiklik bulunmamaktadır.			

¹¹⁾ Bu özellik, huzmenin ağaçların arasına girme olanağını sağlamaktadır. 8 No'lu şekil bu durumu açıklamaktadır. (Çeviren).

TABLO 2

Ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrenin verdiği değerlere ait hatalar¹⁷⁾

	Arazi ile uçak arasındaki yüksekliğin yüzdesi				
	±1	±2	±3	±4	±5
a) Alçak Uçuş	%	%	%	%	%
Bütün ölçmeler	46.1	62.3	82.3	93.1	94.6
10.0 derece	79.2	94.2	97.5	99.2	100.0
7.5 derece	81.1	94.8	97.4	99.1	100.0
5.0 derece	80.6	95.5	97.3	99.1	100.0
2.5 derece	86.7	97.3	98.7	100.0	—
b) Yüksek Uçuş					
Bütün ölçmeler	91.9	100.0	—	—	—
2.5 derece	93.6	100.0	—	—	—

¹⁾ Tablodaki değerlerin şu misallerde olduğu gibi değerlendirilmesi gerekir :

Alçak uçuşlarda yapılan bütün ölçmelerin %46,1 indeki hata, uçuş yüksekliğinin ± 1 den daha küçüktür.

Alçak uçuşlarda yapılan ve eğikliği 5,0 dereceden az olan durumlardaki ölçmelerin %97,3 ündeki hata, uçuş yüksekliğinin ± 3 ünden daha küçüktür. (Çeviren).

Sudbury'de Yapılan Deneme

İngiliz Kolombiyasında yapılan denemelerden bir sonuç alınamayınca, yeni denemeler planlanmıştır. Gönderilen enerji dalgalarının, yaprakların arasına girebildiği ispatlandıktan sonra arazi profilinin hangi sıhhat derecesile saptanabileceği araştırılmıştır. Bu araştırmaların yapıldığı tarihlerde, uçuş yüksekliğini sıhhatli şekilde ölçen ve çizilen grafiği buna göre düzelten alet henüz bulunmamış olduğundan, çalışmalar çeki-

fesi 6 inch (101,6 mm) olan objektifle çekilmiştir. Deneme alanının üzerinde yapılan uçuşların istikametleri Batı - Doğu istikametinde alınmıştır.

M e t o t

Uçuş şeritleri içersindeki fotoğrafların birbirlerini örtme oranı, yani boyuna örtme oranı yaklaşık olarak % 60 dır. Bir uçuş şeridine giren fotoğraf adedi 10 - 40 arasında değişmiştir. Bütün alan için 266 fotoğraf çekilmiştir. Çekilen fotoğraf filimleri 9×9 inch (23×23 cm) büyüklüğündedirler, daha sonra fotoğraf kâğıdına ve 0,06 inch (1,5 mm) kalınlığında fotoğraf camlarına geçirilmişlerdir. Fotoğrafların her birinin çekildiği andaki uçuş yüksekliğini, altimetre saptamış ve fotoğrafın kenarına yazılmasını sağlamıştır. Ayrıca, kâğıt şerit üzerine arazi kesitini çizen alet, görevini yapmış grafiği çizmiştir. Bu grafiğin, uçuş yüksekliğindeki değişikliklere göre düzeltilmesi gerekmektedir.

Yapılacak hesapların ilk değerlerini elde etmek için 1/10 000 ölçekli hava fotoğraflarından faydalanmak uygun olmaktadır. Objektifinin odak mesafesi 3 inch (76,2 mm) olan fotoğraf makinesi ile ekilen fotoğraflar üzerinde yapılan ölçmelere dayanılarak hesaplanan yükseklikler, uçuş yüksekliğinin %0,4 ü kadar hatalı olmaktadır.

Çektiği fotoğrafın bir kenarı 70 mm olan fotoğraf makinesile çekilen fotoğrafların, nadir ve prensipal noktaları¹⁶⁾ topoğrafik harita üzerine işlenmiştir. Yatay eğrileri arasındaki yükseklik farkı 2 m olan bu harita üzerinde enterpolasyon yapılarak işaretlenen noktaların kotları hesaplanmıştır. Bir nadir noktasının kotu, uçak bu nokta üzerindeyken ölçülen ve denizden itibaren olan uçuş yüksekliğini gösteren değerden çıkartılarak, uçağın araziden olan yüksekliği bulunmuştur. Prensipal noktanın harita üzerindeki yeri de işaretlendiğinden, optik eksen üzerindeki eğik mesafeyi (fotoğraf makinesile, optik eksenin araziye değdiği nokta arasındaki mesafe), boyuna ve enine eğilme açılarını hesaplama olanağı sağlanmıştır.

Hesaplanan düşey ve eğik mesafeler, altimetrenin gösterdiği değerlerle karşılaştırılarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltmeler dik-

16) Eğik çekilen bir fotoğrafın optik eksenini arazide gösterdiği nokta «prensipal nokta» dır. Objektifin merkezinden indirilen düşeyin araziye değdiği nokta «Nadir noktası» dır. Düşey çekilen fotoğrafta prensipal nokta ile nadir noktası aynı olur. (Çeviren).

katli şekilde kontrol edilmiş ve sistem buna göre ayarlanmıştır. Sistemin ayarı bu denemelerden önce yapılamazdı. Denemeler sonunda güvenilir değerler elde edilmiş ve bu değerlere göre sistem ayarlanarak, lüzumlu gelişme sağlanmıştır.

Denemelerden çıkan sonuçlar, uçağın eğiklik derecesine göre gruplara ayrılmış ve bunlara göre Lineer regresyon denklemleri hesaplanmıştır. Bu denklemlerde, hesaplama bulunan düşey mesafe (veyahut eğik mesafe) serbest değişken, altimetrenin gösterdiği değer ise serbest değişkene bağlı bir fonksiyon olarak kabul edilmiştir. Bu regresyon denklemleri, aletin sistematik hatasını veya verildiği sonuçların devamlı olarak hangi yöne kaydığını göstermektedir. Regresyon denklemlerinin standart ayrılışları, altimetrenin tesadüfi hatalarını göstermektedir. Altimetrenin verdiği değerlerin % 95 i uçuş yüksekliğinin $\pm$ %1 i kadar hata ile yüklü bulunmaktadır. Bütün hatalar düşey mesafenin (veyahut eğik mesafenin) yüzdesi olarak verilmiştir.

S o n u ç l a r

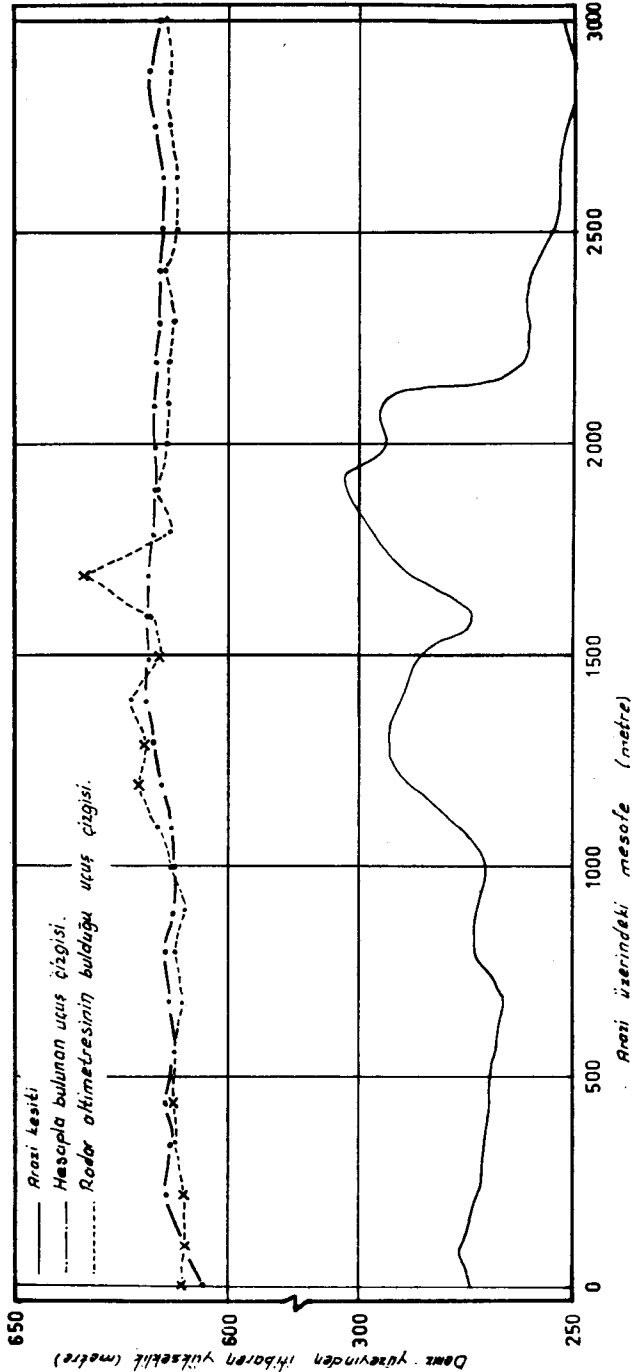
Objektifinin odak mesafesi 3 inch (76,2 mm) olan makine ile çekilen fotoğraflar yardımıyla hesaplanan düşey mesafelere ve altimetrenin verdiği sonuçlara dayanılarak bulunan regresyon denklemleri I No'lu tabloda görülmektedir.

Eğimi 10 dereceden daha büyük olan fotoğraflar hesaba katılmadığı takdirde, düşey mesafe yerine eğik mesafenin alınması sonuç olarak bir etki yapmamaktadır. Fakat eğim bu değerden fazla olduğu takdirde, eğik mesafenin hesaplanması ve serbest değişken olarak alınması gerekmektedir.

Eğimi 10 dereceden daha büyük olan fotoğraflar hesaba katılmadığı takdirde, düşey mesafe yerine eğik mesafenin alınması sonuç olarak bir etki yapmamaktadır. Fakat eğim bu değerden fazla olduğu takdirde, eğik mesafenin hesaplanması ve serbest değişken olarak alınması gerekmektedir.

Altimetreye ait hatalar 2 No'lu tabloda özet olarak verilmiştir.

Alçak uçuşlarda, eğim açısı 2,5 dereceden daha küçük olduğu takdirde, yapılan eğik mesafe ölçmelerinin %81,4 ünde hata, uçuş yüksekliğinin % 1 inden daha az olmaktadır. Yüksek uçuşlarda, eğim açısı gene 2,5 de-



Şekil 6 : Arazi kesiti ve ölçmelerin yapıldığı noktaların deniz yüzeyinden yükseklikleri. İki uçuş çizgisinin kesiştiği noktalarda, uçağın eğikliği 2,5 dereceden daha fazladır.

receden küçük olduğu durumlarda, yapılan eğik mesafe ölçmelerinin %87,3 içindeki hata uçuş yüksekliğinin %1 inden, daha azdır.

Odak mesafesindeki değişikliğin, fotogrametrik hesapları nasıl etkilediğini araştırmak gayesiyle, odak mesafesi 6 inch (152,4 mm) olan objektifle de denemeler yapılmıştır. Bu merceklerin kullanılması, halinde, arazideki küçük bir eğim açısı değişikliğinin, hesapları etkilediği ve sıhhat derecesini çok düşürdüğü, görülmüştür. Bu sebeple, 4 inch'lik merceğe ait değerler buraya alınmamıştır.

2 No'lu tablodaki değerler, 6 No'lu şekilde grafik olarak verilmiştir. Yatay eğrili haritadan çıkartılan arazi kesiti, fotogrametrik yoldan bulunan uçuş yükseklikleri ve radar altimetrenin verdiği değerler şekilde bir arada görülmektedir.

7 No'lu şekilde açıkça görüldüğü üzere, uçuş yüksekliği mutlak hatayı etkilememektedir. Yalnız şekilde, 6 tane ekstrem değer ± 6 m. den biraz daha büyük hata ile yüklü olduğu görülmektedir. Bu grafik, büyük hataların hepsinde, işaretin pozitif olduğunu da göstermektedir. 6 büyük hatadan 3 tanesi başlangıçtaki bir çizginin yanlış okunmasından ileri gelmiştir. Sistemin bir iki küçük gelişmeye daha ihtiyacı olduğu açıkça görülmektedir. Eğer bu hatalar elemine edilirse, 2 No'lu tablodaki şekil biraz daha gelişecektir.

Diğer 3 büyük hata, eğim derecesi sırasıyla %52 - 50 ve 24 olan yamaçlar üzerinde yapılan ölçmelere aittirler.

Sonuçların Özellikleri

Altimetrenin sağladığı sıhhat derecesini saptamak gayesiyle yapılan çalışmada, aşağıda açıklanan hata kaynakları üzerinde durulmuştur.

— Objektifi dar açılı olan fotoğraf makinelerinin görebildiği alanlar küçüktür. Bu makineler kullanıldığı takdirde aynı saha için çok fotoğraf çekilmesi gerekir. Her fotoğrafta yapılacak küçük hataların birleşmesiyle büyük hatalar ortaya çıkabilir. Uçuş yüksekliğinin %0,4 ü kadar hata bu sebeple meydana gelebilir.

— Fotoğraf makinesinin optik ekseni ile radar dalgalarının meydana getirdiği huzme arasındaki açı hataya sebep olabilir. Bu açının yaklaşık olarak bir derece olması kararlaştırılmıştır.

— Topoğrafik yapının sebep olduğu hatalar. Etkili radar huzmesinin tepe açısı yaklaşık olarak 2,5 derecedir. Uçuş yüksekliği 300 - 1000 metre olduğu zamanlarda, bu huzmenin arazide kapladığı alan, çapı 13 - 44 m. olan bir dairedir.

Objektifinin odak mesafesi 6 inch (152,4 mm) olan fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğraflardan bazıları ve çok eğimli arazi üzerinde çekilenler az sıhhatli sonuç vermişlerdir. 6 inch'lik objektifle çekilenlerin verdikleri değerlerdeki hata uçuş yüksekliğinin $\pm 0,6$ sı kadardır. Bu durum, arazideki eğim fazlalığının önemli hatalara sebep olduğunu göstermektedir.

Düz arazi üzerinde deneme gayesiyle yapılan alçak uçuşlarda bulunan yüksekliklere ait hatalar daima uçuş yüksekliğinin % 1 inden daha az olmuştur.

Uçağın eğikliği, büyük çapta hatalara sebep olmaktadır. Bu sebeple eğiklik sınırlandırılmıştır. Uçağın eğilmesi, uçakla arazi arasındaki mesafenin yanlış ölçülmesine sebep olduğu gibi, gönderilen bir çok radar dalgasının dönüp uçağa gelmemesine, bu sebeple de enerji kaybına yol açmaktadır. Arazi yüzeyinin pürüzlü veya pürüzsüz olması da, enerji kaybının az veya çok olmasına neden olmaktadır.

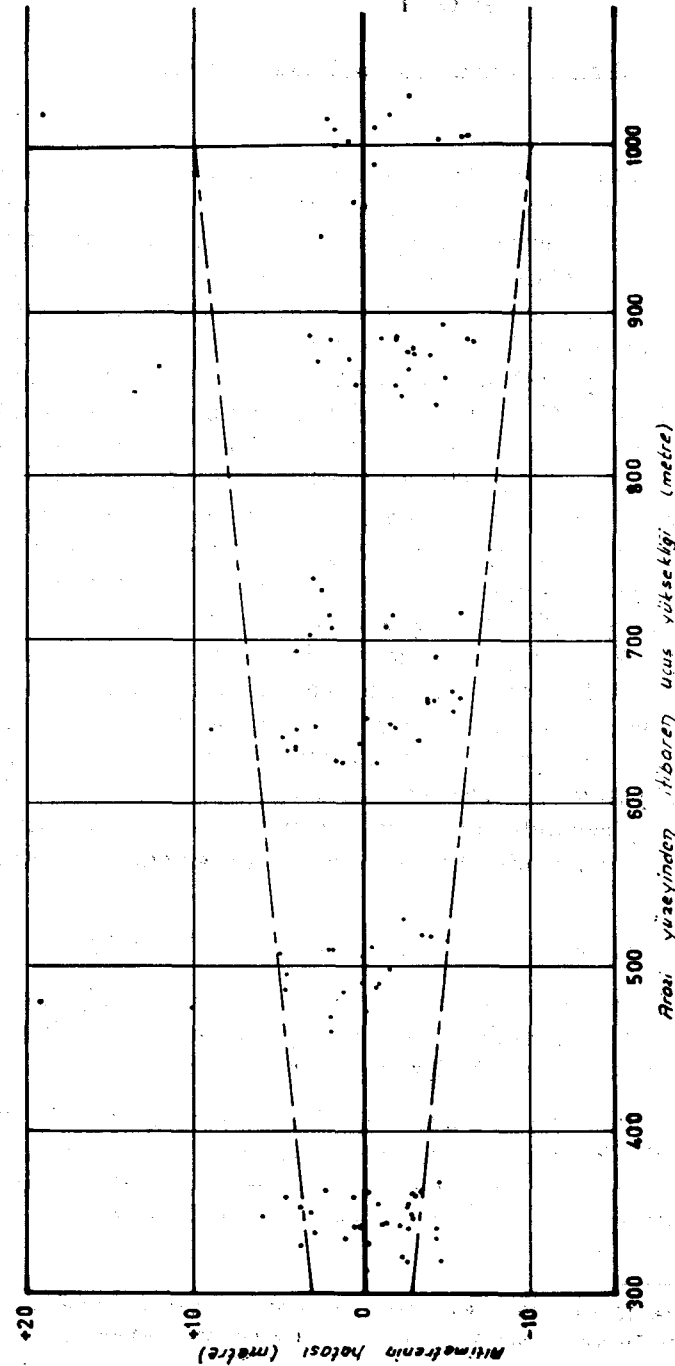
Sonuçların incelenmesinden aşağıdaki hükümler çıkarılmıştır. (Tablo 2 ve Şekil 7 ye bakınız).

— Uçuşların başlangıcında, uçağın eğikliğinin 7 dereceden az olması halinde bulunan uçuş yüksekliklerine ait oransal hata $\pm \%2$ kadar. Bu hüküm ölçmelerin %95 ini kapsamaktadır.

— Saptanan hata miktarları uçuş yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Bir kaç istisna dikkate alınmazsa hatalar ± 6 m den daha küçüktürler.

— Eğer uçuş şeritlerinin başlangıçlarındakiler ile çok eğimli araziler üzerinde yapılanlar hesaba katılmazsa, 450 m. yükseklikten yapılan ölçmelere ait hatalar, uçuş yüksekliğinin $\pm \%1$ den daha azdır.

Yapılan bu açıklamalar, ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrenin, başlangıçtaki durumuna kıyasla biraz daha geliştiğini göstermektedir. Alçak uçuşlarda çekilen hava fotoğraflarının ölçeklerini saptamak için, bu sistemin verdiği uçuş yüksekliklerine güvenebileceği ve bu şekilde bulunacak ölçeklerin Ormancılıktaki envanter çalışmaları için yeterli sıhhati sağlayabildiği ispattanmış bulunmaktadır.



Şekil 7 : Ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrenin hatalarını gösteren grafik. Hatalar, arazi yüzeyine göre bulunan uçuş yüksekliklerinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekildeki kesik çizgiler, uçuş yüksekliklerinin $\pm \%1$ ine ait değerleri gösterilmektedir.

E K I

Ormancılıkta Kullanılan Radar Altimetresinin Çalışma Prensipleri

Normal radar altimetreler, genellikle kare şeklinde enerji darbeleri gönderirler ve bu darbelerin hedefe gidip gelmesi için geçen zamanı ölçerler. Ağaçların tepelerine çarpıp dönen enerji dalgaları, radara, diğerlerinden daha önce döner. Bu dalgaları saptayan sistemlerin verdiği sonuçlar, büyük ölçekli hava fotoğraflarının ölçeklerinin bulunmasında, güvenilir değerler olarak kabul edilmemektedir. Normal uçuş yüksekliği olan 300 - 1000 m. yüksekliklerde hata oranı büyük olmaktadır. 300 m. de % 10 u, 1000 m. de % 3 ü aşmaktadır. Teorik olarak, frekansı 2000 MHz¹⁸⁾ den daha küçük olan enerji dalgaları kullanıldığı takdirde, problemin bertaraf edilmesi gerekir. Çok sıhhatli bir arazi kesiti elde edebilmek için, ince enerji hüzmesinden faydalanılmaya çalışılır. Frekans adedini azaltmak için, antenin boyutlarını büyültmek gerekmektedir. (Westby 1967). İhtiyaca en uygun boyutların bulunması zorunludur. Frekans 4,2 GHz¹⁹⁾ e indirildiği zamanda dahi, alıcı, ağaç yapraklarına çarparak geri gelen dalgaları saptayabilmektedir. Arazi yüzeyine çarparak geri gelen dalgalar çok kuvvetlidirler, bu sebeple, grafiğin en yüksek noktalarını meydana getirmektedirler. Ağaç tepelerinden yansıyan enerji, grafik üzerinde küçük bir yatay çizgi olarak görünür. Yerden yansıyan ise, daha uzun bir yatay çizgi şeklindedir. Yeni sistem, enerjinin gönderildiği an ile, arazi yüzeyinden dönen ve grafik üzerinde en yüksek noktayı meydana getiren enerjinin alıcıya ulaştığı an arasındaki zamanı ölçmektedir (Şekil 8).

Yeni metodun sağladığı avantajlar şunlardır (Wetby 1968) :

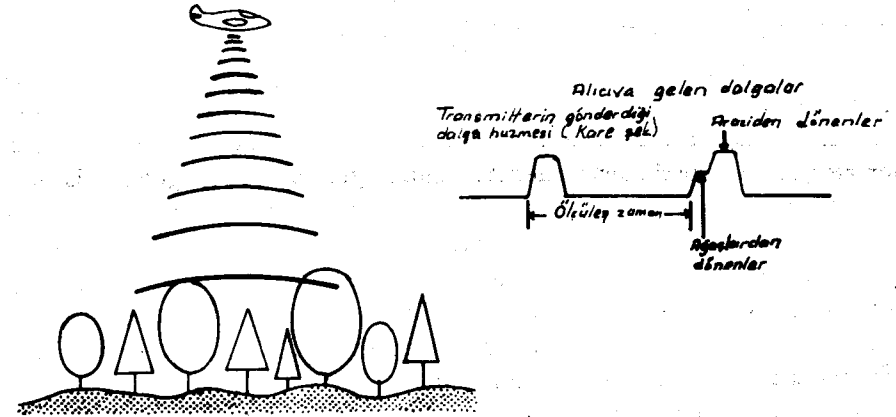
— Oldukça yüksek frekanslı enerjiler kullanılmakta ve böylelikle bitki örtülerinin aralarına girebilme olanağı sağlanmaktadır. Frekansı değiştirme, anten boyutları değiştirilerek yapılmaktadır.

— Antenden çıkan enerji hüzmesinin inceltilmesi, huzmenin kenarlarındaki enerjilerin kudretleri azaltılarak sağlanır. Huzme inceltilince, huzmenin arazi üzerinde kapladığı alan küçülmekte ve arızalı arazinin kesitinin çok sıhhatli olarak çizilmesi olanağı elde edilmektedir.

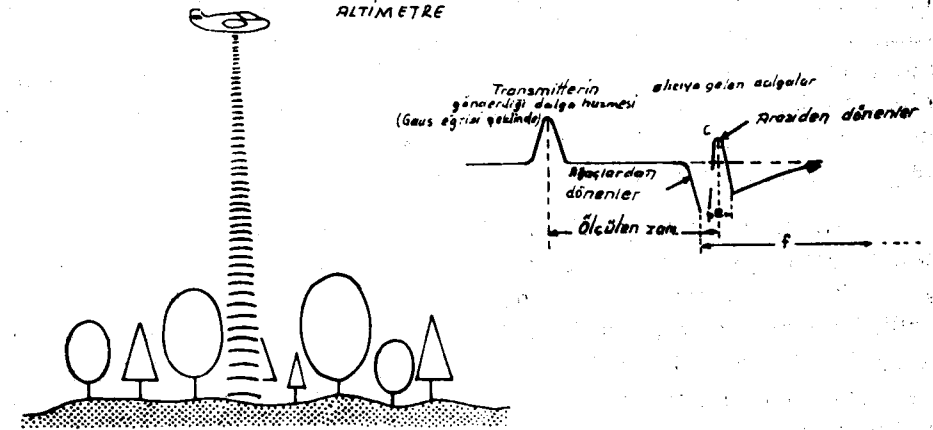
¹⁸⁾ M.Hz = Mega Hertz = 1000 Kilo Hertz = 1 000 000 frekans (Çeviren)

¹⁹⁾ G. Hz = Giga Hertz = 1000 Mega Hertz = 1 000 000 000 frekans (Çeviren).

NORMAL RADAR ALTIMETRE



ORMANCILIKTA KULLANILAN RADAR ALTIMETRE



Şekil 8 : Normal Radar Altimetrelerle ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrelerin zaman ölçme prensipleri arasındaki farkı gösteren şekil. Aynı büyüklükte anten ve aynı veya yaklaşık frekansta dalgalar kullanıldığı takdirde, ormancılıkta kullanılan Radar Altimetrenin gönderdiği hüzmenin genişliği, diğerinden daha azdır.

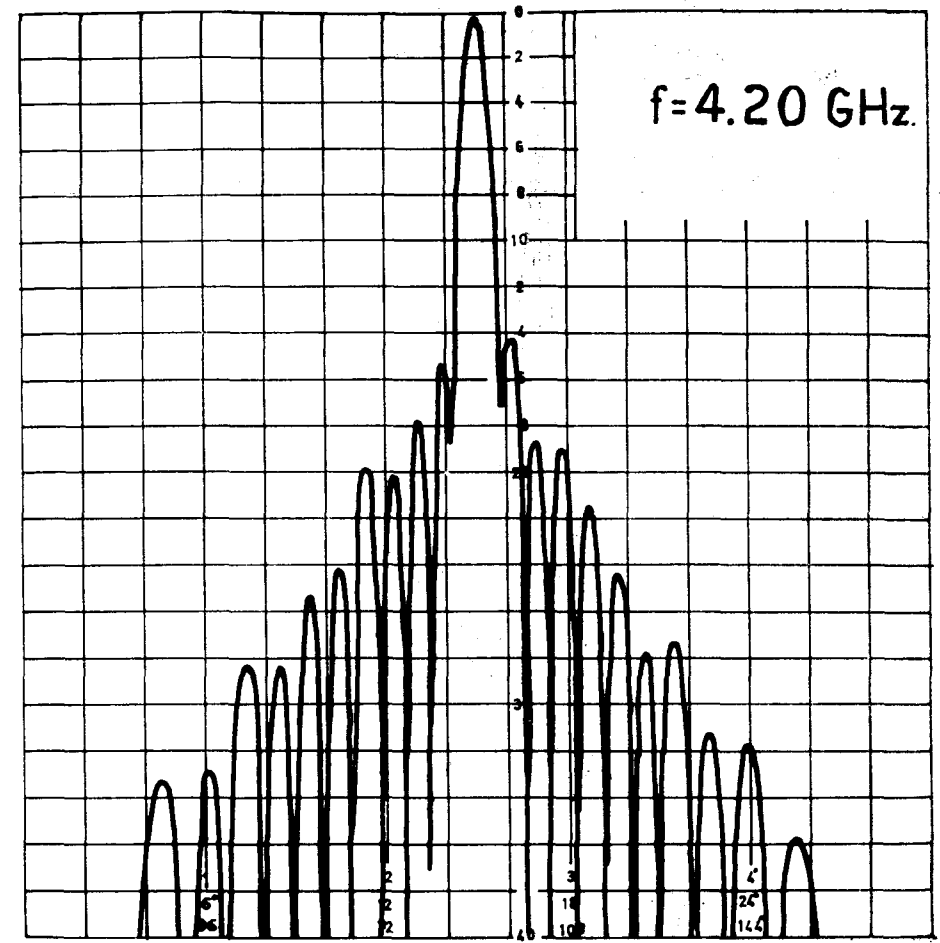
— Sağlanabilecek en büyük sıhhat sınırlıdır. Çünkü, araziden yansıyarak gelen enerjinin grafik üzerinde çizdiği yüksek kısım uzunca bir doğrudur, keskin bir nokta değildir.

Yeni sistemde araziden yansıyarak gelen enerji büyütülmekde ve ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birisi geciktirilmekte, diğeri ise, sağlanan sonuçları otomatik olarak kontrol eden bir geçite gönderilmekte, burada daha fazla büyütüldükten sonra yayılmakda ve geriye gönderilmektedir. Daha sonra, kollardaki enerjilerin her ikisi bir araya getirilmekte ve transistöre gönderilerek birleştirilmektedir. Şekil 8 de görülen baz çizgisi ab, alıcıya herhangi bir sinyal gelmediği zaman çizilen yatay çizgidir. Ağaç tepelerine çarparak gelen ilk sinyaller, eğik çizgilerin başlangıç kısımlarının çizilmesini sağlar. Eğri evvela alçalır, sonra yükselerek c noktasına kadar çıkar. Bu nokta yere çarparak dönen, en kuvvetli ve büyütülmüş enerjiyi temsil etmektedir. Zaman ölçme işi, büyütülmüş enerjinin harekete geçmesiyle başlar ve araziden dönen sinyallerin bir kısmı geciktirilerek miktarının maksimuma ulaşması kesinlikle anlaşılınca kadar devam eder (Westby, personel haberleşmesi 1970) Zaman ölçme metodunun geçirdiği aşamalar, evvelce açıklanmıştı (Westby 1967).

Alıcının elektrik gücü 33 milivatdan daha küçük olduğu takdirde, otomatik kontrol aleti çalışmaz. Alıcıya bağlı bulunan bir amplifikatör, alıcının saptadığı işaretleri güçlendirerek 2 volta çıkartır. Zamanı ölçen aletin çalışabilmesi için de, 2 voltluk bir ceryanın alıcıdan bu alete geçmesi gereklidir. Diğer bir söyleyişle, zaman ölçen alete ilk hareketi verebilmek için 2 voltluk elektrik akımına ihtiyaç vardır. Araziden dönen sinyallerde 33 milivattan daha büyük elektrik enerjisi bulunacak olursa, otomatik kontrol aleti çizilmekte olan yatay çizgiyi yukarı kaldırır ve küçük bir tepe şeklinin çizilmesini sağlar. Bu durumda alıcı aletten, kontrol aletine geçen elektrik 2 volttan fazladır.

9 No'lu şekildeki grafik, 34 inch (84, 4 cm) büyüklüğünde ve çıplak tellerden yapılmış bir antenin, sinyal gönderirken ne şekilde çalıştığını göstermektedir. Yatay eksen üzerindeki bölümlerin herbiri, 2 derecelik bir açıyı göstermektedir. Düşey eksen üzerindeki bölümler ise Decibel'leri²⁰ göstermektedir. Milli Araştırma Merkezinin yaptığı ölçülere göre, paraboloid şeklindeki antenlerin gönderdikleri etkili huzmenin genişliği yaklaşık olarak 3 derecedir. Çıplak tel ile yapılan antenlerin etkili huzmesi ölçülmemiştir. Fakat şekildeki a ve b noktalarının arası 1,5 mili amperdir, bununla kıyaslanarak, 3 dereceye yakın olacağı söylenebilir.

²⁰ Decibel = Sesin veyahut diğer bir enerji dalgasının gücünü ölçmeye yarayan bir birim (Çeviren).

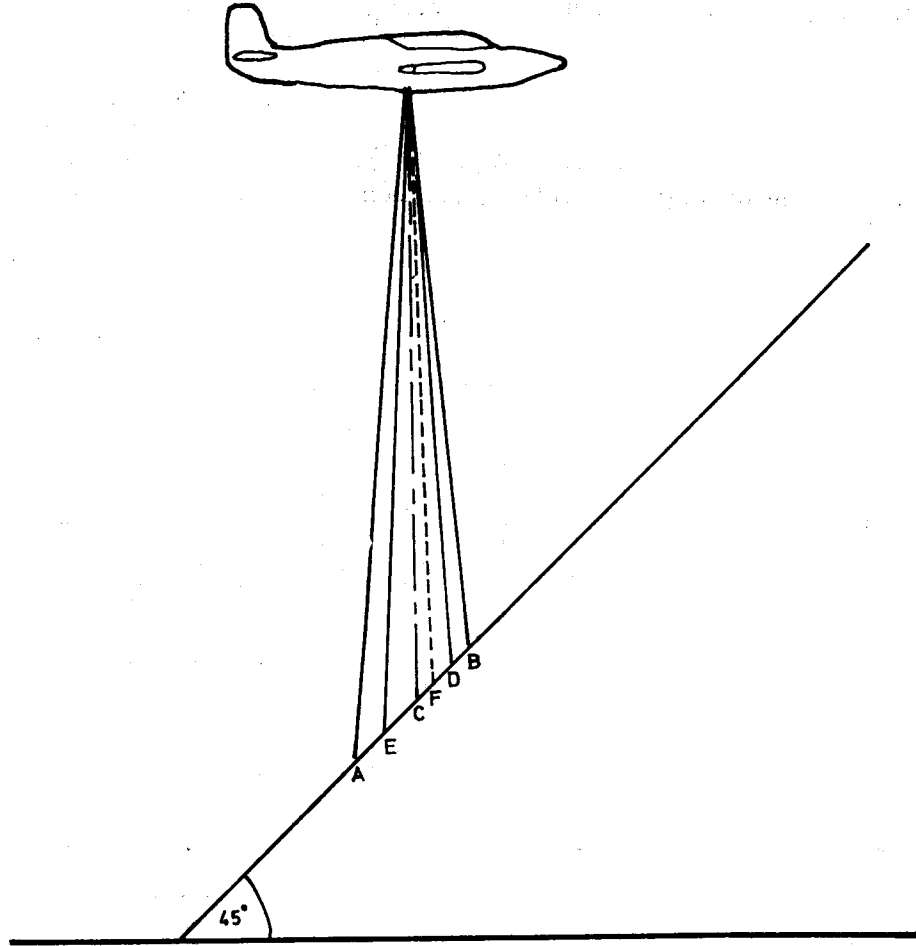


Şekil 9 : 34 inch (86,4 cm) büyüklüğünde, çıplak telden yapılmış bir antenin gönderdiği dalgaları gösteren şekil.

E K 2

Ormancılıkta Kullanılan Radar Altimetrenin Uğradığı Değişiklikler

İlk yapılan denemeler, sistemin arızalı araziler üzerinde iyi sonuç vermediğini göstermiştir. 10 No'lu şekil başarısızlığın sebeplerini göstermektedir. Teorik düşünceye göre, sistemin gönderdiği dalgaların gidiş



Şekil 10 : Eğik arazinin Altimetre üzerine etkisi, A ve B noktaları huzmenin kenarlarını, E ve D noktaları huzmenin etkili kısmının kenarlarını göstermektedir. C noktası huzmenin eksenini üzerinde bulunmaktadır. F noktası ilk sistemin ölçtüğü noktayı belirtmektedir.

gelişlerinin süresi ölçülecektir. Ölçme, araziden dönen dalgaların en yoğun, dolayısıyla en kuvvetli olduğu ana kadar devam edecektir. Şekilde, huzmenin ekseninin araziye değdiği nokta C ile gösterilmiştir. Bu noktadan dönen dalgaların en kuvvetli ve yoğun olması gerekir. Teknik sınırlamaların etkisile, grafik maksimum noktaya varmadan önce ölçme yapılmakda ve C yerine F noktası ölçülmektedir. Şekilde, 45 derece eğimli bir arazi üzerinde yapılan ölçme gösterilmiştir. 45 derece eğimli bir arazi-

nin 500 m. yüksekinden uçularak ölçmeler yapıldığı takdirde, yaklaşık olarak —6,5 m. hata yapıldığı denemelerle saptanmıştır.

Bu ölçme şekli daha sonra değiştirilmiştir. Bugün her nokta için 2 zaman ölçmesi yapılmaktadır. Birinde eğrinin yükselmeye başladığı ana kadar geçen zaman ölçülmekte, diğerinde ise, yükselen eğrinin indiği ve baz çizgisine ulaştığı ana kadar geçen zaman ölçülmekte ve ortalaması alınmaktadır. Bu ortalama, şekildeki E ve D noktalarının ortasına ait yüksekliğin bulunmasını sağlamaktadır. Bu nokta genellikle C noktasının çok yakınında veya üzerinde bulunmaktadır.

İkinci değişiklik, zaman ölçen aletin çalışma şeklinde yapılmıştır. Evvelce zaman ölçen alet, alıcıya gelen dalgaların beraberlerinde getirdikleri elektrik enerjisinden faydalanarak çalışırlardı. Bu gün ise, dalgaların getirdiği elektrik enerjisi amplifikatörden geçirilerek büyütülmektedir (EK I e bakınız). Amplifikatörden geçerek zaman ölçen alete gelen enerji belirli bir sınırı aşmadığı takdirde, zaman ölçme aleti harekete geçmektedir. Bu özellik alete bir avantaj sağlamaktadır. Alıcıya herhangi bir dalga gelmediği veyahut çok zayıf dalgalar geldiği takdirde, zaman ölçme aletindeki rakkamlar değişmeyecek ve hep aynı değer okunacaktır.

Uçuş yüksekliğine göre alette küçük bir değişiklik yapılmaktadır. Bu sebeple uçuş yükseklikleri aşağıdaki şekilde 2 kısma ayrılmaktadır.

Alçak uçuş 240 - 700 metre (800 - 2300 feet)

Yüksek uçuş 640 - 1100 metre (2100 - 3600 feet)