

TERMAL IŞINLARLA UZAKTAN ALGILAMA

(Termografi)

Prof. Dr. Tahsin TOKMANOĞLU 1

Kısa Özet

Dünya yüzeyindeki arazi parçalarından yükselen ısıları, uzaktan ölçme tekniğine Termografi denilmektedir. Bu ölçü küçük bir ev için yapılabileceği gibi, okyanuslar için de yapılabilmektedir. Termografi yerden ve havadan olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Termografi, binalardan kaçan ısıların saptanmasında kullanıldığı gibi, kanserli hastaların seçilmesinde de başarı ile uygulanmaktadır.

Doğadaki olaylarda daima bir ısı değişikliği olmaktadır. Uçaklardan yapılan termografik ölçülerle, bu ısı değişiklikleri saptanmakta ve yorumlanarak doğadaki olaylara ait bilgiler elde edilmektedir. Doğal kaynakların işletilmesi de ısı değişikliğine sebep olmakta ve termografi tekniği sayesinde incelenabilmektedir.

Her canlı çevresine bir ısı yayar, termografi sayesinde bu ısı uzaklardan ölçülebilmektedir. Fotoğraf filimleri dalgaboyu uzun olan ışınlardan etkilenmezler, bu ışınları inceleyebilmek için, Elektronik Dedektör denilen alet kullanılır. Objelerden çevreye yayılan ışınlara, objenin mutlak ısisına ve ışınlara dalga boylarına bağlı olarak değişmektedir. Dalgaboyu küçüldükçe ısı ve enerji yayma oranı büyümektedir.

Objelerin çeşitli ısılarda en çok yayındıkları ışınlara, dalgaboyu 3-4 mikron olanlarla 8-14 mikron arasında bulunan ışınlardır. Bu ışınlara, atmosferden kolaylıkla geçmektedirler. Bu özelliklerinden yararlanılarak orman yangınlarının incelenmesinde ve yerlerinin saptanmasında kullanılmaktadırlar.

Objelerin, içlerinde biriktirdikleri enerjileri ölçmek için «Termal Dedektör»lerden veya «Kuantum Dedektörleri»nden yararlanılır, son yıllarda çok geliştirilen bu aygıtların çok çeşitli tipleri yapılmıştır ve kullanılmaktadır. Radyasyonu ölçmek için de «Termal Radyometre»ler yapılmıştır. Uçaklara monte edilen bu aygıtlar yardımıyla, arazideki ısı farkları saptanmakta, yorumu yapılarak da arazinin üzerinde ve içinde nelerin bulunduğu ortaya çıkarılabilmektedir.

1 I.Ü. Orman Fakültesi Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı.

GİRİŞ

Uzaktan Algılamanın (Remote Sensing), bir bölümü olan Termografi, şu şekilde tanımlanmaktadır. Dünya yüzeyini oluşturan arazi parçalarının yayınladığı ısıları, uzaktan ölçme yöntemidir. Termografinin ilgilendiği alan, küçük bir evin duvarı olabileceği gibi, çok geniş alanları kaplayan okyanuslarda olabilmektedir. Termografi, yerden ve havadan olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Yerden yapılan «Yersel Termografi», havadan yapılan da «Havadan» veya «Uzaydan Termografi» denilmektedir. «Uzaydan Termografi» bir yörüngeye yerleşmiş olan uydudan yapılmaktadır.

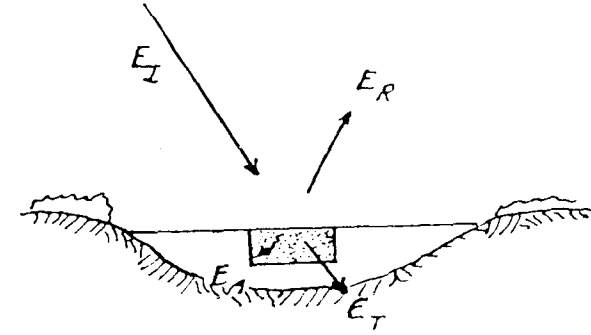
Termografi, bir binadan yükselen ısıların ölçülmesinde kullanıldığı gibi, kanserli hastaların seçilmesinde de başarıyla kullanılmaktadır. Aşağıda uçaklardan yapılan Termografi üzerinde durulmuş ve Termografinin genel kuralları açıklanmaya çalışılmıştır.

Isı ölçme işlemleri, genellikle enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılmaktadır. Son yıllarda, binaların ısı kaybını gösteren fotoğraflar çekilmekte, hangi bölümlerinin daha fazla ısı kaybettiği saptanarak önlemler alınmaktadır. Havadan Termografi, ısı kaybını önlemenin dışında başka amaçlarla da kullanılmaktadır. Doğadaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların hepsinde çevrede bir ısı değişikliği olmaktadır. Bu değişiklik ölçülerek, olayla ilgili bilgi sağlanabilmektedir. Doğal kaynakların işletilmesi de, çevrelerindeki ısıların değişmesine neden olmaktadır. Bu değişiklikler ölçülerek, doğal kaynaklar hakkında bilgi elde edilebilmektedir.

Bir canlının gövdesindeki ısı ölçülmek istendiğinde, ısı ölçebilen bir aletin, bu gövdeye değiştirilmesi veya içersine sokulması gerekir. Böyle yapıldığı takdirde «Kinetik Isı» veya «Gerçek Isı» ölçülmüş olur. Gövdenin içersindeki organların çalışabilmeleri için, bir miktar enerji gereklidir. Ayrıca gövdenin, kendi sıcaklığını koruyabilmesi için, çevresine ısı yayması gereklidir. Çevreye yayılan bu ısıyı veya enerjiyi, uzaktan inceleme ve ölçme olanağı vardır. Buna «Çevreye Yayılan Isı» veya «Ölçülebilen Isı» denilmektedir.

Dünyamızın yüzeyini oluşturan arazi parçaları devamlı olarak havaya, Termal Işınlar yaymaktadırlar. Fotoğraf filimleri, dalga boyu büyük olan ışıklardan etkilenmezler, Termal Işınlardan da etkilenmezler. Şekil No: 1 çok zaman, kızılötesi ışınlarla çekilen fotoğrafla (Infrared Fotograf), Isı farklarını gösteren fotoğraf (Thermal Imagery), birbirine karıştırılmaktadır. Bunlar birbirlerinden çok farklı şeylerdir. Birincisi, objeler üzerinden yansıyarak gelen kızılötesi ışınların, sebep olduğu bir kimyasal olay sonunda meydana gelmektedir. Yansıyarak gelen kızılötesi ışınların, üzerinde yansydıkları objelerin ısılarıyla, direkt ilişkileri bulunmamaktadır. Diğer bir deyimle; kızılötesi ışınlarla çekilen fotoğraflar, objelerin ışınlarını belirtemezler.

Dalga boyları uzun olan Termal ışınları inceleyebilmek için «Elektronik Dedektör» denilen aletleri kullanmak gereklidir. «Elektronik Dedektör»den çıkan bilgiler, manyetik bantlar üzerine, sayılar şeklinde işlenebilir. Gözle görülebilmelerini sağlamak amacıyla, bir filim üzerine aktarılabilir. Bu şekilde elde edilen görüntüye «Termal Görüntü» veya «Termogram» denilmektedir. Bu durumda filim, sadece üzerine bazı bilgilerin işlendiği bir araç olmaktadır, asla dedektör olmamaktadır.



Şekil No: 1

Fotoğraf filimlerini etkileyen ışınlarla, «Elektronik Dedektör»leri etkileyen ışınlar arasındaki farkı gösteren şekil. Yeryüzüne gelen ışınlar E_I , 4 gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, yüzeyde yansıyarak geri döner E_R , ikinci grup obje tarafından absorbe edilir E_A (emilir), üçüncü grup objeyi geçerek daha aşağılara gider E_T . Dalgaboyu küçük olan ışınlar, objelerin yüzeylerinden yansır ve fotoğraf filimlerini etkilerler. Dalgaboyu büyük olan ışınlar (Kızılötesi Işınlar), objelerin içersine girer, daha sonra çıkarlar, fotoğraf filimlerini etkilemezler, «Elektronik Dedektörleri» etkilerler. İstenirse daha sonra fotoğrafa dönüştürülebilirler.

Termal Işınlar yardımıyla uzaktan inceleme tekniğini anlayabilmek için, önce Termal Işınlara ait fizik bilgilerini öğrenmek gerekir. Termal ışınların atmosferde nasıl yayıldığı, toprağın içersine nasıl girdiği ve ne gibi değişikliklere uğradığı bilinmelidir. Aşağıda önce bu konular özetlenmiş daha sonra da; termal ışınların toplanması hazırlanması ve termal ışınları inceleyen özel aygıtlarda incelenmesi yöntemleri açıklanmıştır.

SİYAH OBJELERDEN YAYILAN IŞINLAR

Isısı, Mutlak sıfırdan yani -273 dereceden daha fazla olan her obje, çevresine ışın yayar. Yayılan ışının yoğunluğu ve dalga boyu, objeyi oluşturan maddenin cinsine ve ısısına bağlıdır. Şekil No: 2 de, siyah bir objenin ısısı değiştikçe, çevresine yaydığı enerjinin nasıl değiştiği, grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerin birbirlerine çok benzedikleri görülmektedir. Hepsinde, en yüksek nokta, küçük dalga boylarının olduğu taraftadır. Ayrıca; ısı arttıkça, en yüksek noktanın, daha küçük dalga boylarına doğru kaydığı görülmektedir. Bu özelliğe «Wien'in Kayma Yasası» denilmektedir.

Belirli bir ısıdaki siyah objenin, çevresine yaydığı toplam enerji, ait olduğu grafiğin altında bulunan alanla belirlenmiştir. Eğer Termal ışınları inceleyen bir dedektör ile, bir siyah objeden çevreye yayılan enerjinin tamamı toplanır ve ölçülebilirse, o objenin ısısına ait grafiğin altındaki alan hesaplanabilir. Bu alan, matematik yöntemle hesaplanmış ve «Stefan - Boltzmann Yasası» olarak da formüle bağlanmıştır. Formül şöyledir :

$$W = \sigma T^4$$

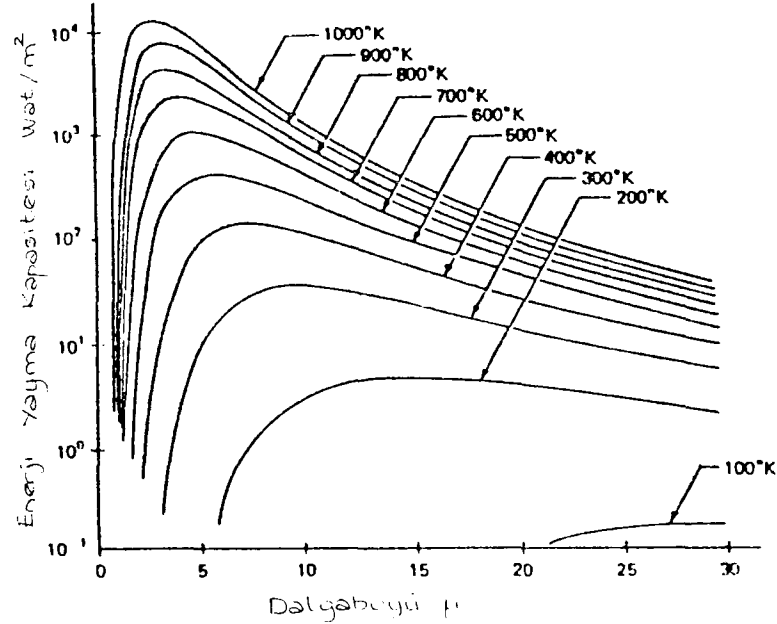
Formül içersindeki değerler şunlardır :

W = Yayılan enerjinin toplamı (Wat/m²)

σ = Stefan - Boltzmann katsayısı $5,6697 \times 10^{-8}$ Wat/m²

T = Siyah objenin mutlak ısısı (K°)

Formülde, siyah objeden çevreye yayılan toplam enerjinin, mutlak ısının dördüncü kuvvetine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Buna göre; bir objenin yüzeyindeki mutlak ısı ölçülürse, çevresine yaydığı toplam enerji kolaylıkla hesaplanabilir. Objenin yüzeyindeki ısı, dalgalı bir şekilde ölçülecek olursa, «Termal Işın Yardımıyla Uzaktan İnceleme» yöntemi uygulanmış olur. Belirli dalga boyundaki ışınların yaydığı enerji ölçülür ve bundan yararlanılarak, objenin yüzeyindeki ısı hesaplanırsa, gene aynı amaca ulaşılır.



Şekil No: 2

Siyah bir objeden, çevreye yayılan enerjinin, objenin mutlak ısısına ve ışınların dalga boylarına bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren grafikler. Grafiklerin birbirine benzediği en yüksek noktalarının, dalga boyu küçük ışınlar olduğu, ayrıca objenin ısı arttıkça, en yüksek noktanın daha küçük dalga boylarına kaydığı görülmektedir.

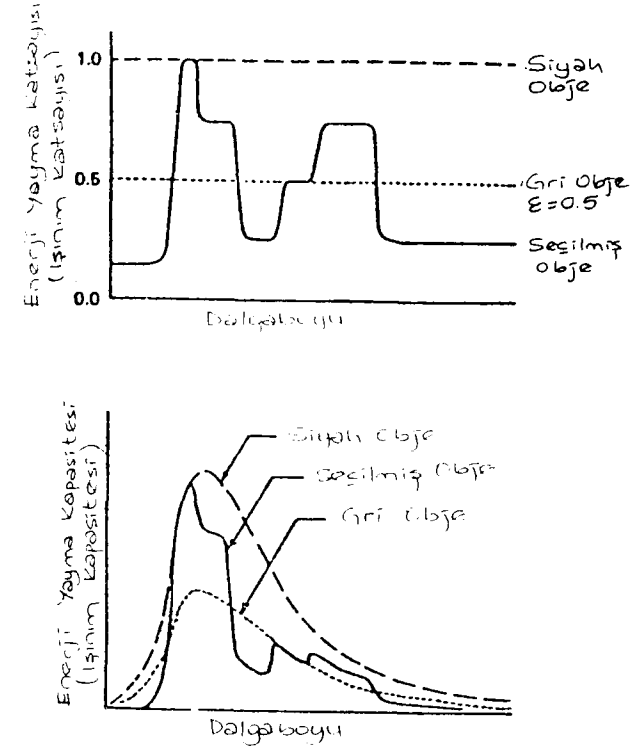
SIYAH OLMAYAN OBJELERDEN YAYILAN IŞINLAR

Yeryüzünde tam anlamıyla siyah obje, yok denecek kadar az olduğundan, buradaki başlığa «Gerçek Objelerden Yayılan Işımlar» da denilebilir. Siyah objeler, radyasyon kurallarının açıklanmasında yararlı olmaktadır, fakat; gerçekte bulunmamaktadırlar. Gerçek objelerin yayınladığı ışınların veya enerjilerin, aynı ısıdaki siyah objelerin yayınladıklarına oranı daima aynı kalmaktadır. Bu orana, o objenin «Enerji Yayma Katsayısı» (Emissivity) denilmekte ve e harfi ile gösterilmektedir. e değeri bir formülle gösterilmek istenirse

$$e(\lambda) = \frac{\text{Belirli bir derecedeki gerçek objeden yayılan enerji}}{\text{Aynı derecedeki siyah bir objeden yayılan enerji}}$$

e katsayısı, daima sıfır ile bir arasında bulunmaktadır. Yansımada olduğu gibi, ışın yayma (Radyasyon) özelliği de, ışınların dalga boylarına ve eğim açılarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca objenin cinsine ve ısısına göre de değişmektedir.

Gri objelerin, çevrelerine yaydıkları enerjinin aynı ısıdaki siyah objenin yaydığı enerji miktarına oranı, dalga boylarına bağlı olarak değişmemekte, her dalga boyunda aynı kalmaktadır. Buna göre; belirli bir ısı için, gri objelerin, «Enerji Yayma Katsayıları» yani e değerleri aynı kalmaktadır. Buna göre; belirli bir ısı için, gri objelerin, «Enerji Yayma Katsayıları» yani e değerleri aynı kalmaktadır. Eğer bir objenin, «Enerji Yayma Katsayısı», üzerine düşen ışının dalga boyuna göre değişiyorsa, o objeye «Seçilmiş Obje» veya «Seçilmiş Radyatör» (Selective Radiator) denilmektedir. Şekil No: 3 deki grafiklerde, siyah ve gri objelerle, seçilmiş bir objenin

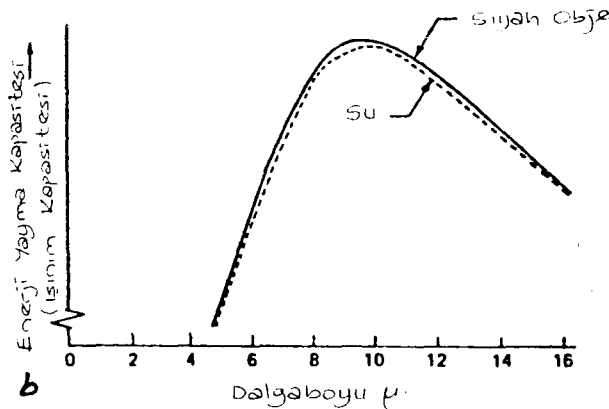
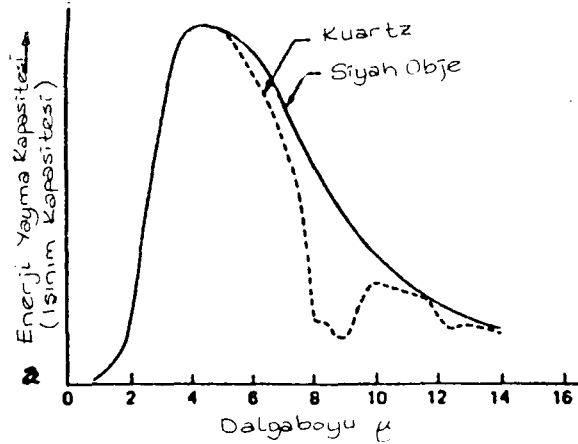


Şekil No: 3

Siyah ve gri objelerle üçüncü bir objenin, enerji tutma ve yayılma özelliklerini gösteren şekil. Gri objenin enerji yayma katsayısı 0.5 siyahınki ise 1.0'dır. Siyah obje gelen enerjinin tamamını, önce absorbe etmekte (içine almakta) sonra yavaş yavaş dışarıya vermektedir. Renk açıldıkça bu oran düşmektedir. Tam beyaz objelerde bu oran sıfıra kadar düşmektedir. Yukardaki grafik obje içinde tutulan daha sonra yayılan enerji oranlarını, aşağıdaki ise hemen yayılan enerji oranlarını göstermektedir. Siyah ve gri objelerde, tutulan enerjinin dalga boyuna bağımlı olmadığı, hemen yansıyan enerjinin ise dalga boyuna göre değiştiği görülmektedir. Yukardaki grafik, siyah objeye göre oranları göstermektedir: Bu oranlar dalga boyuna bağımlı değildir. Aşağıdaki grafik, yayılan ışının ve enerjinin miktarını göstermektedir. Şekil No: 2 de olduğu gibi Watt/m² cinsinden bir değerdir. Bu değer dalga boyuna bağımlı olduğu görülmektedir.

enerji yayımlama özellikleri arasındaki farklar görülmektedir. Grafikteki gri objenin, Enerji Yayıma Katsayısı 0,5 dir. Bu grafiklerden yukarıda bulunan siyah objeye olan oranları göstermektedir. Bu oranlar yani ϵ katsayıları, dalga boylarına bağımlı değildirler. Objenin ısısının değişmemesi koşulu ile, her dalgaboyu için aynıdır. Aşağıdaki grafik yayınlanan ışının veya enerjinin miktarını göstermektedir. Wat/m² cinsinden bir değerdir. Bu değer dalgaboyuna göre değiştiği görülmektedir.

Doğada bulunan objelerin büyük çoğunluğunun yayınladığı enerji, siyah objeler gibi, ışınların dalgaboylarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil No: 4a da, Kuartzın yayınladığı enerji ile, siyah bir objenin yayınladığı enerji arasındaki fark görülmektedir. Şekil incelendiğinde; kuartzın, dalgaboyu 6 mikrondan küçük ışınları, aynen

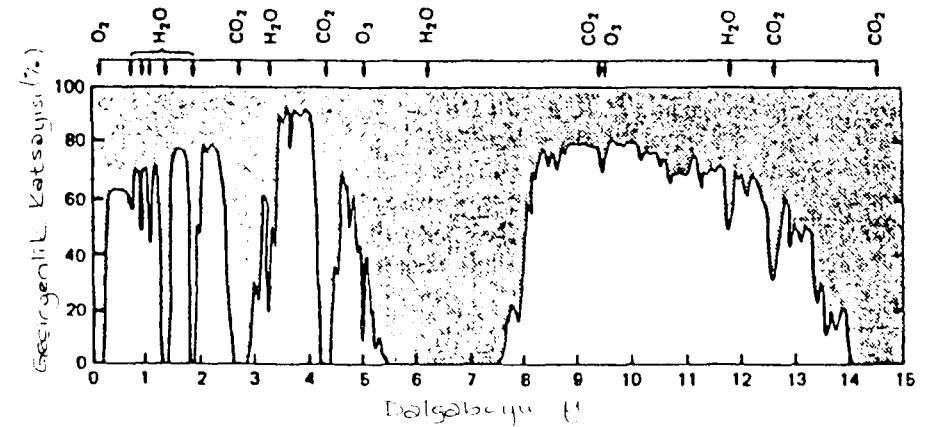


Şekil No: 4

Kuartz ve suyun, Termal ışın (enerji) yayma özelliklerini gösteren şekil. Yukarıdaki grafikte (a), 600 Kelvin ısısındaki bir kuartz ile siyah objenin Termal ışın yayma özellikleri gösterilmiştir. Boyu 6 mikrondan küçük dalgalarda grafiklerin aynı olduğu, daha büyüklerde eğildiği görülmektedir; Aşağıdaki grafikte (b) 300 Kelvin ısısındaki su ile, bir siyah objenin Termal ışın yayma özellikleri karşılaştırılmıştır. Her dalgaboyunda birbirlerine uydukları görülmektedir.

siyah obje gibi yansıttığı, daha büyük dalgaboylarında ise farklı olduğu görülmektedir. Buna göre; Kuartz, dalgaboyu 6 mikrondan büyük ışınlarda, «Seçilmiş Objeye» olarak kullanılabilir. Yani grafiğin bu bölgesinden yararlanılarak kuartz saptanabilir. Şekil No: 4b de, su ile siyah objenin enerji yansıma özellikleri bulunmaktadır. Birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Suyun, «Enerji Yayıma Katsayısı» ϵ değeri 0,96 ile 1,00 arasında değişmektedir.

Dalgaboyu 8 ile 14 mikron arasında bulunan ışınların önemli bir özelliği bulunmaktadır. Bu ışınlar, Şekil No: 2 de görüldüğü üzere; objelerin çeşitli ısılarda en çok yaydıkları ışınlardır. Ayrıca; Şekil No: 5 de görüldüğü üzere, atmosferden en çok geçen ışınlardır. Atmosfer bu ışınlara bir pencere açmış gibidir. Bu ışınlara, «Atmosfer Penceresi» (Atmospheric Window) denilmektedir. Dalgaboyu 3 ile 5 mikron arasında olan ışınlar da atmosferden kolay geçmekte ve ikinci bir pencere oluşturmaktadır. Fakat asıl büyük pencere dalgaboyu 8 ile 14 mikron arasında olanlardır. Dünya yüzeyindeki objelerin büyük çoğunluğunun ısısı 300 Kelvin (27 derece) veya buna yakındır. Bu ısıdaki objelerin, çevrelerine yaydıkları enerji, dalgaboyu 9,7 mikron olan ışınlarda en büyük değere ulaşmaktadır. Şekil No: 2 ye bakınız. Bu sebeplerden dolayı, Termal enerjiyi inceleyen dedektörlerde genellikle, dalgaboyu 8 ile 14 mikron arasında bulunan ışınlardan yararlanılmaktadır. Objelerin, bu ışınlara ait «Enerji Yayıma Katsayıları» yapıldıkları maddelerin cinslerine göre çok değişmektedir. Her maddenin, bu ışınlara ait olan «Enerji Yayıma Katsayıları» saptanmıştır. Bu katsayılar, grinin tonları gibi kabul edilmekte ve ona göre işlem görmektedir. Çizelge No: I de, çeşitli objelerin, dalgaboyu 8-14 mikron olan ışınlara ait «Enerji Yayıma Katsayıları» verilmiştir.



Şekil No: 5

Atmosferin, içinden geçmek isteyen ışınları hangi oranlarda engellediğini gösteren şekil. Işınların atmosferden geçiş oranlarının dalgaboylarına göre çok değiştiği görülmektedir. Geçiş oranı en büyük olan dalgalarda, boyları 3-4 mikron arasında olanlarla 8-14 mikron arasında olanlardır. Bu aralıklara «Atmosfer Penceresi» denilmektedir. Dalgaboyu 3-4 mikron arasında olan ışınlar, orman yangınlarının incelenmesinde 8-14 mikron arasında olanlarda yerlerinin saptanmasında kullanılmaktadır.

Şekil No: 2 de, fazla ısıtılan objelerde, en yüksek enerji yayılma oranının, küçük dalgaboylarına doğru kaydığı görülmektedir. Bu özellikten yararlanılarak, orman

yangınlarının yerleri saptanmaktadır. Atmosferin 3-5 mikron arasındaki penceresinden yararlanılarak orman yangınları araştırılmaktadır. Aynı yöntemden yararlanılarak, çevresinden daha yüksek ısıya sahip olan objeler saptanabilmektedir.

ATMOSFERİN ETKİSİ

Atmosfer havadan çekilen fotoğrafları etkilediği gibi, Termal ışınları inceleyen sistemleri de çeşitli şekillerde etkilemektedir. Bu etki, hem Termal ışınların yoğunluğunda, hem de birleşme şekillerinde kendini göstermektedir. Termal ışınlardan yararlanırken, Şekil No: 5 de gösterilen «Atmosfer Pencere»lerinden yararlanma zorunluğu vardır. Atmosfer Pencerelerinin dışındaki ışınlardan yararlanarak, Termal ışın incelemesi yapılmak istenirse, ışınlar yeryüzünden Termal sisteme gelinceye kadar, ya büyümekte veya küçülmektedir. Atmosfer de diğer objeler gibi, gelen ışınların bir kısmını absorbe etmekte, bir kısmını dağıtmakta, bir kısmını da geçirmektedir. Işınların bu şekilde bölünmesindeki oranlar, atmosferin yoğunluğunu ve diğer özelliklerine göre çok değişmektedir.

Çizelge No: 1

Çeşitli objelerin, dalgaboyu 8-14 mikron olan ışınlarla ait «Enerji Yayma Katsayıları»

Objenin Cinsi	Objenin Isısı	Enerji Yayma Katsayısı (e)
İnsan derisi	32	0,98
Vejetasyon	27	0,98
Temiz su	20	0,96
Buz	-10	0,96
Karbon (Saf kömür)	20	0,95
Islak toprak	20	0,95
Cam	20	0,94
Boya (16 rengin ortalaması)	100	0,94
Tuğla	20	0,93
Kuru toprak	20	0,92
Beton	20	0,92
Kum	20	0,90
Odun	20	0,90
Granit	20	0,898
Feldspat	20	0,870
Dunite	20	0,856
Kar	-10	0,85
Saf aliminyum	100	0,55
Paslanmaz çelik	20	0,16
Parlatılmış altın	100	0,02

Atmosferde bulunan gazlar ve küçük parçacıklar, araziden gelen Termal ışınların bir çoğunu absorbe etmekte, böylelikle Termal sistemlere gelen ışınlar azalmaktadır. Atmosferdeki küçük parçacıklar, araziden gelen ışınların bir kısmını absorbe eder, diğer bir kısmını da, çeşitli yönlerde yansıtarak dağıtırlar. Bazen de bunun tersi olmaktadır. Atmosferdeki gazlar ve küçük parçacıklar, yeryüzünden ge-

len enerjilere, kendilerinde bulunan enerjileri de ilave eder ve birlikte Termal sistemlere gönderirler. Sonuç olarak denilebilir ki Atmosfer; yeryüzünden gelen Termal enerjileri (ışınları), bazen soğutarak, bazen de daha fazla ısıtarak Termal Sistemlere göndermektedir. Atmosferin, bu değişikliklerden hangisini yapacağı bilinmemektedir. Yeryüzeyinin tarandığı anda, atmosferde bulunan koşullar, bu değişikliklerden birinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumda Termal Sistem, bir işe yaramaz hale gelmektedir. Her iki durumda, etkinin büyüklüğü, ışının atmosfer içinde aldığı yola, diğer bir deyimle; obje ile Termal sistem arasındaki uzaklığa bağlıdır.

300 m. yükseklikten, Termal sistemle ölçü yapılarak bir objenin ısısı saptanacak olursa, farkı 2 derece veya biraz daha büyük olan bir değer bulunur. Bu durum, birinci derecede meteorolojik koşullara, daha sonra da Termal ışınlarla etki yapan kuvvetlere bağlıdır. Sis ve bulut genellikle Termal ışınları dağıtmaktadır. Çok açık bir havada dahi, çiçek tozları bulunmakta ve Termal ışınlarla gelen sinyalleri etkilemektedirler. Tozlar, kömür zerrelere, duman ve su damlacıkları, havada bulundukları taktirde, Termal ışınları etkilemektedirler. Bu maddelerin, atmosferde az veya çok bulunması, hava koşullarına, zamana, yüksekliğe ve atmosferin diğer özelliklerine bağlıdır.

Atmosferin, Termal enerji üzerindeki etkisi, küçük değildir, dikkate alınması ve hesaba katılması gereken bir değerdir. Bu değerın hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

ARAZİ ÖZELLİKLERİYLE, TERMAL IŞINLAR ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Termografide genellikle, yeryüzeyini oluşturan arazi parçalarından yükselen, Termal enerjiler ölçülmektedir. Bir arazi parçasından yükselen enerji, o parçanın güneşten aldığı ve içinde biriktirdiği enerjidir. Bir objenin, yansıttığı, absorbe ettiği ve aşağıya geçirdiği enerjilerin toplamı, güneşten o objeye gelen enerji miktarına eşittir. Bu kural, bütün ışınlar için doğru olduğu gibi, Termal ışınlar için de doğrudur ve şu denklemle açıklanabilir (Bak. Şekil No: 1).

$$E_t = E_a + E_r + E_r$$

Formül içersindeki değerler şunlardır :

E_t = Obje veya arazi parçası üzerine gelen enerji

E_a = Objenin absorbe ettiği enerji

E_r = Objenin yansıttığı enerji

E_r = Objenin aşağıya geçirdiği enerji

Bu denklemin her iki tarafı E_t ile bölünür ve sonuçlar, yüzde olarak belirlenirse

$$\frac{E_a}{E_t} + \frac{E_r}{E_t} + \frac{E_r}{E_t} = 1 = \% 100$$

veya

$$e(\lambda) + \rho(\lambda) + t(\lambda) = I \text{ yazılabilir.}$$

Bu formüller, herhangi bir objenin, absorbe ettiği, yansıttığı ve aşağıya geçirdiği enerjilere ait oranları göstermektedir.

Aynı konularla ilgili olarak birde «Kirchoff'un Radyasyon Yasası» bulunmaktadır. Bu yasaya göre; bir objenin, çevresine yaydığı enerjilerin toplamı, absorbe ettiği enerjilerin toplamına eşittir. Buna göre son formüldeki $a(\lambda)$ teriminin yerine, enerji yayma katsayısı olan $e(\lambda)$ yazılabilir, böylelikle formül

$$e(\lambda) + \rho(\lambda) + t(\lambda) = I$$

şekline girer.

Aynı yasaya göre; gelen enerjileri kolaylıkla absorbe eden objeler, kolaylıkla da çevrelerine yaymaktadırlar. Doğadaki objelerin büyük çoğunluğu, enerjiyi aşağıda bulunan başka objelere geçirmemektedir. Ya yansıtmakta, yahutta absorbe etmektedir. Böyle objelerde, yukardaki denklemin üçüncü terimi sıfır olmaktadır. $t(\lambda) = 0$ alınınca denklem

$$e(\lambda) + \rho(\lambda) = I$$

şekline dönüşmektedir.

Bu formül, bir objeden doğrudan doğruya yansıyan enerji ile, Termal enerji arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Doğrudan doğruya yansıyan enerji azaldığında, Termal enerjinin çoğaldığı veya tersinin olduğu formülden açıkça anlaşılmaktadır. Örneğin; suda doğrudan doğruya yansıyan enerji yok denecek kadar azdır. Suyun yayınladığı Termal enerji yok denecek kadar azdır. Buna göre; suyun yayınladığı Termal enerjinin oranı % 100 veya 1 dir. Buna karşılık; metal levhaların doğrudan doğruya yansıttıkları enerjinin oranı çok yüksektir, yaydıkları Termal enerjinin oranı ise çok küçüktür. Madenlerin, çabuk ısınıp çabuk soğuması da aynı anlama gelmektedir. Burada, doğrudan doğruya yayınlanan yani; obje üzerinde yansıyarak giden enerji de, obje içersinde bir süre durduktan sonra çevreye yayılan enerji de Termal enerjidir, yani her ikisi de uzun boylu dalgalardan oluşmaktadır. Genellikle sadece, obje içinde uzun süre bekleyene Termal enerji denilmektedir.

Bir objeden yayılmakta olan Termal enerjinin ölçülmesinde, Termal enerji katsayısı (e) nin büyük önemi vardır. Siyah objelere uygulanan Stefan - Boltzmann Yasası genişletilerek, bütün objelere uygulanabilir. Bunun için, yasayı açıklayan formülün verdiği sonucun, Termal Enerji Katsayısı (e) ile çarpılması gerekir. Böylelikle formül

$$W = e \sigma T^4$$

şekline dönüşür.

Bu formül, Bir Termal Dedektörün saptadığı enerji ile, gerçek objenin ısı arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Geniş bir araziyi oluşturan parçalar, yaklaşık olarak aynı ısı derecesinde olduğu halde Termal Işınları yayma oranları birbirlerinden çok farklıdır.

Termal Dedektörün, bir obje için gösterdiği ısı, o objenin içersinde biriktirilen ve sonra yayılan enerjiden oluşmaktadır. Buna Radyasyon Isısı denilmekte ve $T_{(rad.)}$ ile gösterilmektedir. Genellikle, objelerin Radyasyon ısıları, Kinetik ısıları $T_{(Kin)}$ ile ilişkilidir, arada

$$T_{(rad)} = e^{1/4} T_{(Kin)}$$

şeklinde bir ilişki bulunmaktadır.

Bu formüle göre; objelerin Termal Dedektörle ölçülen Radyasyon ısıları, daima Kinetik ısılarından daha küçüktür. e değeri, birden küçük olduğundan $e^{1/4}$ de, birden küçük olacaktır. Gizelge No: 2 de bulunan 4 objenin, Kinetik ısıları $T_{(Kin)}$, aynı olduğu halde, Radyasyon ısılarının farklı olduğu görülmektedir. Radyasyon ısının hangi değişikliklere uğradığı tam olarak saptanmadan, Kinetik ısı nasıl bulunabileceği konusu üzerinde durulmaya ve düşünölmeye değer bir konudur.

Gizelge No: 2

4 objenin, Kinetik ve Radyan ısıları arasındaki ilişkiler.

Obje	Termal Enerji Yansıma Oranı (e)	Kinetik Isı $T_{(Kin)}$	Radyasyon Isısı $T_{(rad)}$
Siyah obje	1.00	300 K (27°C)	300,0 K (27,0°C)
Vejetasyon	0.98	300 K (27°C)	298,5 K (25,5°C)
Islak Toprak	0.96	300 K (27°C)	297,0 K (24,0°C)
Kuru Toprak	0.92	300 K (27°C)	293,8 K (20,8°C)

Son olarak; şunu açıklamakta yarar vardır : Termal Dedektörler, arazi parçalarının yüzeylerindeki ısıları saptamaktadırlar. Bu ısılar, o arazi parçasına gelen ışınların ancak yarısından oluşmaktadırlar. Yüzeydeki ısıyı ölçerek, objenin veya arazinin içersinde bulunan toplam ısı hakkında karar verme olanağı yoktur. Örneğin; havadaki rutubet oranının düşük olduğu bir günde; sular, güneş ışınlarının etkisiyle bir hayli ısınır, fakat; yüzeylerindeki buharlaşma nedeniyle, yüzeyleri aynı oranda ısınmaz, serin kalır. Bu durumda, suyun alt kısımları yüzeyinden daha sıcak olur. Termal Dedektör ise, sadece yüzeydeki ısıyı saptar.

TERMAL DEDEKTÖRLER

Termal Dedektörler, görüntü verip vermediklerine göre, ikiye ayrılmaktadırlar. Her ikisinin de en önemli kısmı ki buna dedektörün kalbi de denilebilir, radyasyon dedektörünün biraz değiştirilmiş şeklidir. Dedektörler radyasyonları elektrik sinyallerine dönüştürmekte ve çeşitli şekillerde, bantlara veya kağıtlara işlemektedirler. Uygulamada çok kullanılan dedektörler, bir başka bakımdan, iki büyük gruba ayrılmaktadırlar. Birinci grubdakilere «Termal Dedektörler», ikinci grubdakilere de «Kuantum» veya «Foton Dedektörleri» denilmektedir.

Termal Dedektörlerin içlerindeki ısı, absorbe ettikleri radyasyona göre değişmektedir. Bu ısı değişikliği, elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Termal Dedektörlerin içersinde, elektrik geçirme oranı, ısıya bağlı olarak değişen maddeler bulunmaktadır. Diğer bir deyimle; elektrige karşı gösterdiği direnç, ısıya bağlı olarak değişen maddeler, Termal Dedektörlerin özünü oluşturmaktadır. Dedektöre gelen radyasyon değiştiğinde, içindeki maddenin ısısı değişmekte, buna bağlı olarak geçirdiği elektrigin şiddeti değişmekte ve çeşitli göstergelerde, bu değişiklik görülmektedir. Bu gruba giren dedektörlerin en büyük avantajları, kullanıcılarının pratik oluşudur. Fakat algıladıkları ışınların dalga boylarıyla ilgilenmezler. Dezavantajları da, süratli sonuç vermemeleridir. İçlerine giren enerjinin, içindeki maddeyi ısıtması için uzun bir zamana gereksinime duyulmaktadır. Bu madde ısıdıktan sonra, geçirdiği akımda değişiklik olmaktadır. Daha önce herhangi bir değişiklik olmamaktadır.

İkinci gruba giren «Kuantum Dedektör»leri, birinci grupdakilerle kıyaslanınca, çok süratli iş gördükleri sonucuna varılır. İkinci gruptaki dedektörler, bir saniyenin bindebiri kadar bir zamanda, sonucu verebilmektedirler. Kuantum Dedektörlerinin çalışma prensibi şöyledir : Dedektörün içindeki maddeye elektrik yüklenmiştir. Aygıtta giren ışınların getirdiği fotonlar, içindeki elektrik yükünün süratle değişmesine neden olmaktadır. Bu değişiklikleri de göstergeler bildirmektedirler. Kuantum dedektörleri, çok süratli ölçü yapmaları nedeniyle, son yıllarda çok yayılmıştır ve Remote Sensing çalışmalarında çok kullanılmaya başlanmıştır. Kuantum dedektörlerinde kullanılan ışınların, en küçük dalga boylusu ile, en büyük dalga boylusu arasındaki fark, çok küçüktür. Diğer bir deyimle; Kuantum dedektörleri, manyetik spektrumun küçük bir bölümünden yararlanmaktadır. Bu dedektörlerin içlerindeki ısılarının, mutlak sıfır derecesinde veya bu derecenin yakınında olması gereklidir. Bu kadar soğukluğun sağlanabilmesi için; dedektör, termos gibi ısı geçirmeyen özel bir sandıkta saklanmaktadır. Sandığın çift kat olan duvarları arasına sıvı helyum veya sıvı azot konulmakta, böylelikle uzaktaki bir ısıdan, örneğin kaynayan bir sudan etkilenmesi önlenmektedir.

Uygulamada en çok kullanılan 3 Kuantum dedektörünün isimleri ve özellikleri 3 No.lu çizelgede verilmiştir.

Çizelge No: 3

Çok kullanılan Kuantum Dedektörlerinin özellikleri.

Dedektörün Adı	Simgesi	Kullandığı ışının dalga boyları (Mikron)	Çalıştığı ısı derecesi
Mercury-doped germanium	Ge : Hg	3-14	30 K (- 243°C)
Indium antimonide	In. Sb	3-5	77 K (- 196°C)
	Hg. Cd. Te	8-14	77 K (- 196°C)
	veya		
Mercury cadmium telluride	MCT		
	veya		
	Trimetal		

TERMAL RADYOMETRELER

Radyasyon ölçen sistemlerin en basitleri, «Termal Radyometreler»dir. Görüntü vermeyen bu aygıtlar, objelerin yayınladıkları Termal ışınları ölçmekte ve kayda geçmektedirler. Bir radyometre aşağıda açıklanan parçalardan oluşmaktadır.

1 — Toplayıcı Mercekler : İncelenmesi istenen objeden veya arazi parçasından gelen ışınları toplar.

2 — Filtre : Sadece, aygıtın kullanacağı ışınların içeriye girmesini sağlar, diğerlerini engeller.

3 — Dedektör : Toplayıcı merceklerden ve filtreden geçerek gelen ışınları, elektrik sinyallerine dönüştüren asıl dedektör.

4 — Elektronik Aygıt veya Amplifikatör : Dedektörden çıkan sinyalleri kuvvetlendirir.

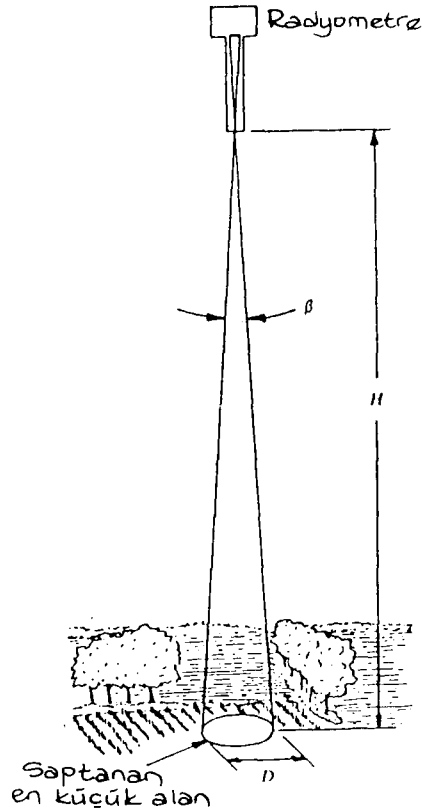
5 — Kayıt sistemi : Dedektörün verdiği sinyalleri, herhangi bir şekilde kayıt yapan sistem. Genellikle manyetik bantlara veya kağıt şeritlere kayıt yapılır.

Şekil No: 6 da bir Termal Radyometrenin şeması görülmektedir. Toplayıcı mercekler (2), araziden gelen ışınlar (1) bir araya getirerek, asıl dedektöre gönderir. Mercekler, Termal ışınların bir kısmını absorbe ederek azalmalarına neden olduklarından, çok zaman yerlerine «Yansıtıcı Aynalar» kullanılmaktadır. Toplayıcı Merceklerden veya Yansıtıcı Aynalardan geçen ışınlar, pervane şeklindeki bir aynaya (3) gelmektedirler. Eksenini etrafından dönen bu ayna, ışınların asıl dedektöre kesik kesik gitmesini sağlamaktadır. Şekilde görüldüğü üzere, ışınlar pervane şeklindeki aynadan geçtikten sonra, ısınan özel maddeye gelmekte (4), daha sonra filtreden (5) geçerek asıl dedektöre (6) gitmektedir. Termal Dedektörlerin sakıncalı tarafları, yukarıda belirtildiği üzere, içlerindeki özel maddenin geç ısınması ve bu nedenle de, çalışmalarının uzun sürede gerçekleşmesidir. Sonuçta toplanan bilgiler kayıt sistemi (8) aracılığıyla, manyetik bantlara veya kağıt şeritlere işlenmektedir.

Şekil No: 7 de bir radyometrenin çalışma yöntemi görülmektedir. Şekil No: 7a da bir uçağın altına monte edilmiş radyometrenin, araziye tarayış şekli görülmektedir. Radyometre, uçağın tam altındaki ince şeridi taramaktadır. Bu şerit içersinden gelen Termal Işınlar, Şekil No: 7b de görüldüğü gibi, bir şerit üzerine grafik şeklinde işlenirler. Buna «Termal Profil» denilmektedir.

Termal Profil'in her parçasının, uçuşun hangi anında alındığı ve bu nedenle de nereye ait olduğu ayrıca saptanmaktadır. Şekil No: 7a da görülen ve uçuş şeridinin genişliğini saptayan β açısını değiştirme olanağı bulunmaktadır. Dedektöre gelen element sayısı, bu açıya göre değişmektedir. β açısı, uçuş şeridini gören koninin tepe açısıdır. Termal profillerin, hangi β açısı ile saptandığı ayrıca belirlenir. Şekil No: 8 de, Termal Radyatörün, çok kısa bir anda (bir enstantanede) incelendiği alan görülmektedir. Daire şeklinde olan bu alanın çapı

$$D = H \beta$$



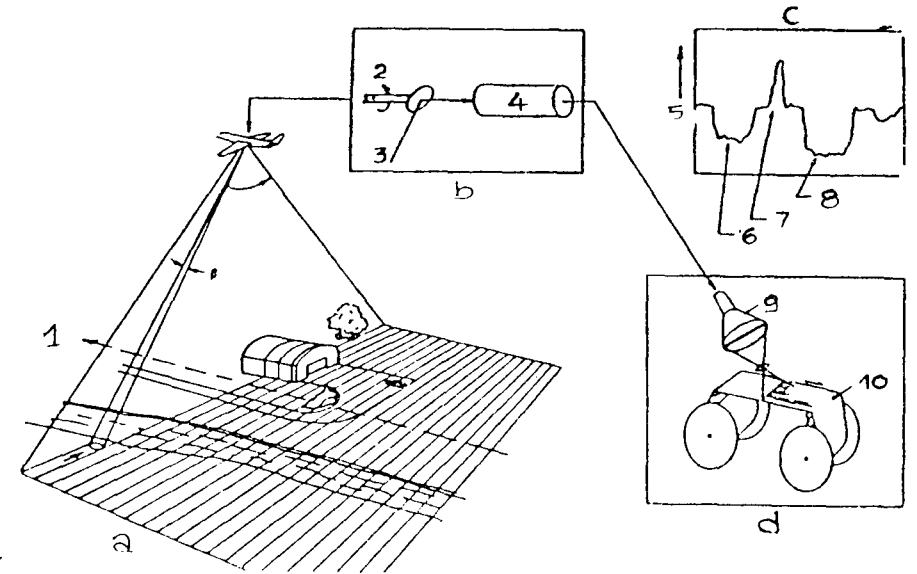
Şekil No: 8

Termal Radyometrinin bir enstantaneyi nasıl saptadığını açıklayan şekil. Termal Radyometre içindeki porvane (Bak. Şekil No: 6), gelen ışınları keserek parçalara böldüğünden, enstantaneler oluşturmakta ve uçuş şeridinin içersini, yanyana dizilmiş daireler halinde taramaktadır. Yukarda, uçuş şeridi içersindeki bir dairenin durumu görülmektedir. Dairenin çapı D, uçuş yüksekliği H ile, daireyi gören β açısının (radyan cinsinden) çarpımına eşittir.

TERMAL TARAYICILAR

Termal Tarayıcılarla, Termal Radyometreler arasındaki en önemli fark, Tarayıcıların fotoğraf veya görüntü verebilmeleridir. Termal Tarayıcılar tek boyutlu bilgi vermektedirler, bu bilgi sadece uçuş eksenine aittir. Termal Tarayıcılar ise iki boyutlu bilgi yani taranan alana, uçuş şeridine ait bilgiler vermektedirler. Şekil No: 9a da, Uçuş şeridi içinde kalan alanın, uçuş eksenine dik ince şeritler halinde nasıl tarandığı görülmektedir. Şekil No: 9b deki tarayıcı ayna, eksenini etrafında dönerken, yeryüzeyinden gelen ışınları, yansıtarak dedektöre göndermektedir. Aynanın parlak yüzü tam olarak aşağıya baktığında, çok miktarda ısıyı, dedektöre göndermektedir. Yanlara ve yukarıya baktığında ise hiç ışın göndermemektedir. Aynanın bir dönüşü bir enstantane oluşturmaktadır. Termal Radyometrelerde, uçuş eksenini için grafik

çizilmesine karşılık, burada taranan ince şeritler için grafik çizilmektedir. İnce şeritler taranırken, dedektör sinyaller vermekte ve bununla da Şekil No: 9c de görülen grafik çizilmektedir. Taranan ince şeritlerin herbirinden gelen sinyaller, bu katot tüpüne verilerek içersindeki yoğunluk değiştirilmekte ve bir filim üzerine, yanyana çeşitli kalınlıkta çizgiler çizilmekte, böylelikle de fotoğraf elde edilmektedir. Şekil No: 9d de fotoğrafın nasıl oluşturulduğu görülmektedir. Dedektörün çalışması ve fotoğrafların çekilmesi tamamıyla uçağın hızına göre ayarlanmıştır. Arazide boşluklar bırakılmadığı gibi, şeritlerin veya fotoğrafların üst üste binmesine de engel olunmaktadır.

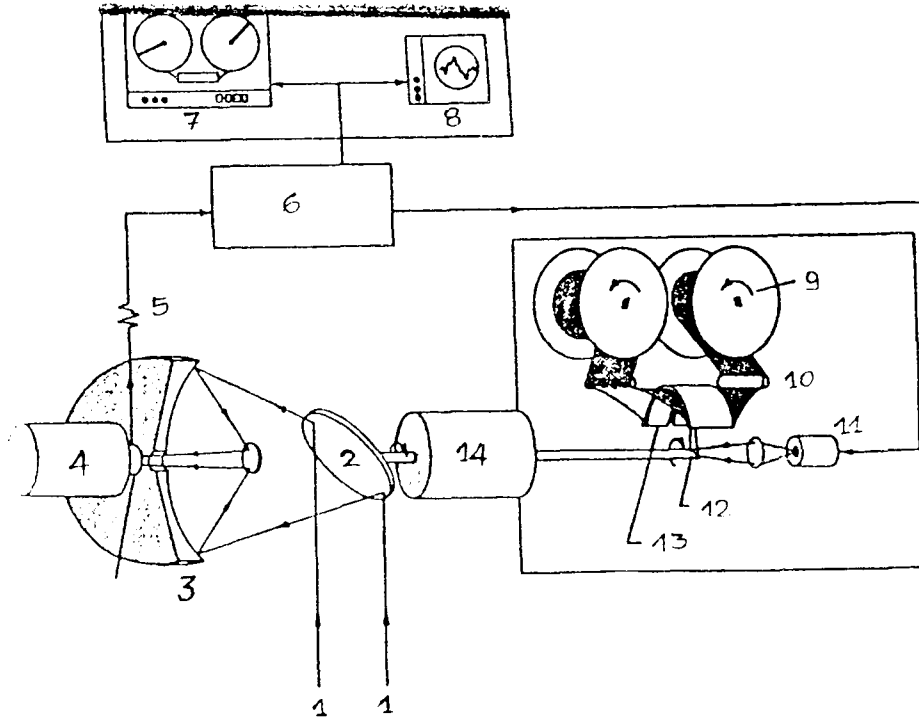


Şekil No: 9

Termal Tarayıcı sistemin parçaları ve çalışma yöntemini açıklayan şekil. Şekil No: 7 de görülen Termal Radyometre ince bir şeridi taramaktadır, yukardaki aygıt ise bir alanı taramaktadır. Burada, uçuş eksenine dik ince şeritler alınmakta ve ayrı ayrı taranmaktadır. İnce şeritlerin taranması, eğik duran ve bir eksen etrafında dönen Tarayıcı Ayna yardımıyla yapılmaktadır. Araziden gelen ışınlar (a) Tarayıcı Aynada yansıtıldıktan sonra Dedektör (b) gitmektedir. Dedektörde elektrik sinyallerine dönüşürülmesi ve daha sonra bu sinyallerden yararlanılarak taranan ince şeritlere ait grafikler (c) çizilmekte, hcm de filimler üzerine işlenerek fotoğraflar (d) oluşturulmaktadır. Şekildeki rakamlar sırasıyla şunları göstermektedir: 1 — Uçuş şeridinin eksenini, 2 — Dönen ayna, 45 derece eğik, 3 — Araziden gelen, kızılötesi ışınlar, 4 — Dedektör, 5 — Dedektörden gelen sinyaller, 6 — İrmak, 7 — Yol, 8 — Metal çatı örtüsü, 9 — Dedektörden gelen sinyalleri ışına döndüren ve filim üzerine işleyen aygıt, 10 — Filim.

Termal Tarayıcının topladığı bilgiler, normal olarak, uçuş esnasında manyetik bantlara işlenirler. Manyetik bantlara doldurulan bilgiler, filimlere işlenenlerden çok daha fazla güvenlidir. Çünkü filimlerin bilgi saptama kapasiteleri, manyetik bantlara kıyasla, çok daha sınırlıdır. Ayrıca; manyetik bantlardaki bilgilerin değerlendirilmesi veya yorumu, bilgisayarlarda daha kolaylıkla yapılabilir. Uçuş esnasında manyetik bant doldurulurken, çizilen grafik bir ekranda görülebilir ve duyarlı şekilde her zaman saptanabilir.

Şekil No: 10 da, bir Termal Tarayıcı sistemin şeması görülmektedir. Şemada da belirtildiği üzere, elektronik aygıttan yani asıl dedektörden çıkan bilgiler, aynı zamanda, hem manyetik bantlara işlenmekte hem de osiloskobun ekranında görülmektedir. Asıl dedektörden çıkan sinyallerin bir kısmı, Şekil No: 9d de görülen aygıtın bir benzerine gider ve film üzerine işlenerek, resim oluşmasını sağlar. Şekil No: 10 da Termal Tarayıcının parçaları ve işleyişleri görülmektedir. Araziden gelen Termal Işıklar 1 no. ile, Tarayıcı ayna 2 no. ile gösterilmiştir. 3 no. da bulunan mercekler, aynadan gelen ışınların, 4 no. daki Dedektör üzerine düşmesini sağlarlar. Bu dedektör, madeni bir silindir içersine yerleştirilmiştir, sıvı helyum veya sıvı nitrojen ile soğutulmaktadır. Dedektör, kendine gelen ışınları elektrik sinyallerine dönüştürür, 5 no.lu aygıt da gözle görülebilecek hale gelir. 6 no.lu aygıtta da güçlendirilir. Bu sinyaller, çizgiler halinde 7 no. daki manyetik bantlara işlenir ve 8 no. daki



Şekil No: 10

Termal Tarayıcı sistemin parçalarını, ayrıntılı olarak gösteren şekil. Arazi yüzeyinden gelen Termal Işıklar (1), önce Tarayıcı Aynaya (2) çarpmakta, yansıyarak Tarayıcı ve Toplayıcı Optik Sisteme (3) gelmekte ve birleştirilerek Dedektöre (4) gönderilmektedir. Dedektör sıvı hidrojen veya nitrojen içersinde tutularak soğutulmaktadır. Dedektör gelen ışınları elektrik sinyallerine dönüştürerek önce videoya (5) ve güçlendirme aygıtına (6) gönderir. Daha sonra bu güçlendirilmiş elektrik sinyalleri, hem manyetik bantlara (7) doldurulur hem de osiloskoba (8) gönderilerek grafikler çizilir. Güçlendirilmiş elektrik sinyalleri, bir katot tüpüne (11) gönderilir ve ışınları dönüştürülerek, film üzerine ince şeritler halinde (10) işlenir. Katot Tüpü (11) den çıkan ışınlar, (12) no. daki aynada yansıyarak silindirik şeklinde duran filme (13) gelmektedir. Sonuçta hem grafik hem de fotoğraf elde edilir. Termal Radyometrenin tek boyutlu yani; bir eksene ait bilgi vermesine karşılık, Termal Tarayıcı iki boyutlu, yani bir alana ait bilgiler vermektedir.

osiloskobun ekranında, boyuna kesit grafiği şeklinde görünür. Manyetik bantlar, evlerde kullanılan ses alma aygıtları gibi çalışmaktadırlar, yalnız banta alma sinyalleri daha yüksek, frekansları daha düşüktür. 11 no. daki Katot tüpü, dedektörden gelen güçlendirilmiş sinyalleri, ışığa dönüştürür ve 10 no. da görülen filme işler. Film, tarama aynasının bağlı olduğu 14 no. daki motora bağlıdır ve birlikte döner.

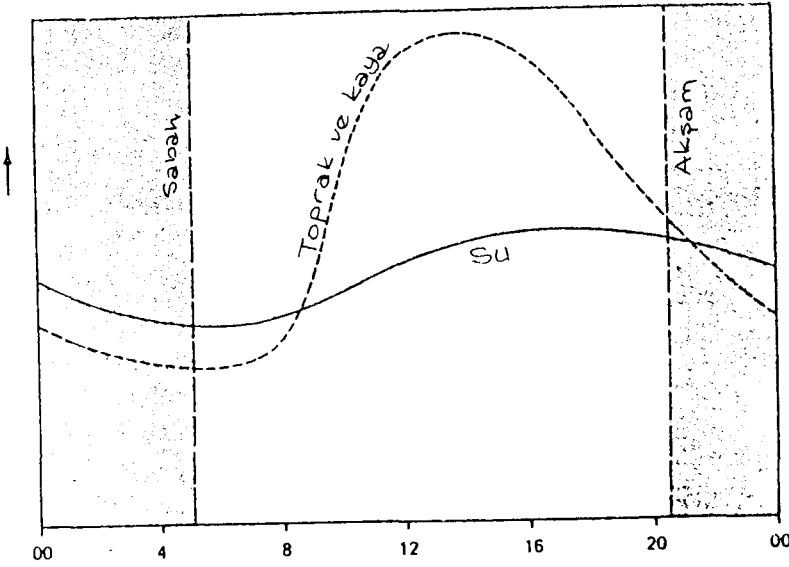
Termal Tarayıcıdan çıkan film dedektörden gelen bilgilerin, grafik haline dönüştürülmüş ve yanyana sıralanmış bir topluluğudur. Yüksek oranda ışın gönderen arazi parçaları, filmi daha çok etkilemekte, az gönderenler ise az etkilemektedir. Negatif filimler karta basıldığında, yüksek oranda ışın gönderen yerler, diğerlerinden daha açık tonda görülürler.

TERMAL TARAYICILARDAN ALINAN FOTOĞRAFLARIN YORUMU

Termal Tarayıcılardan çıkan fotoğraflar, çeşitli amaçlarla incelenmekte ve başarılı işlerin yapılmasını sağlamaktadırlar. Bu başarılı işlerin içersinde, kaya tiplerinin saptanması, arazideki fay hatlarının bulunması, toprak tiplerini ve toprak rutubetini gösteren haritaların yapılması, volkanların termal özelliklerinin saptanması, vejetasyon alanlarından yükselen evapo - transpirasyonların incelenmesi, soğuk ve sıcak su kaynakları ile Gayzerlerin bulunduğu yerlerin saptanması, göl ve dere içlerindeki sıcak su akıntılarının bulunması, orman yangınlarının yerlerinin ve kapladıkları alanların saptanması, toprak altında yanmakta olan kömür yataklarının bulunması, gibi konular vardır.

Termal Tarayıcılarla yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, doğal kaynakların özelliklerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Örneğin; jeolojik haritalar ve toprak haritaları, Termal Tarayıcılarla yapılmakta ve doğal kaynakların özelliklerini göstermektedirler. Toprak özelliklerinin saptanması için, sadece mutlak ısısının ve ışın gönderme özelliğinin bilinmesi yeterli değildir. Bu özelliklerin zamanla ne şekilde değiştiğinin de araştırılması gerekir. Bazen, Termal Tarama işi yapılırken, mutlak ısıyı saptayabilmek için, toplanan bilgilerin kantitatif analizini yapma zorunluğu doğar. Örneğin; Doğal kaynakları araştırarak bir kamu kurumundaki Termal Tarayıcı ile, bir su yüzeyinden yükselen termal ışınlar incelenir, böylelikle yakındaki nükleer enerji santrali hakkında bilgi elde edilebilir.

Termal Tarama çalışmaları, günün çeşitli saatlerinde yapılabilir. En uygun saatin hangisi olduğu konusunda, genel bir karar verilemez, bir çok etken, en uygun saatin saptanmasında rol oynamaktadır. Daha önce yapılan taramalarda elde edilen bantlardan ve resimlerden yararlanmak gerekir. Genel bir bilgi olarak, toprak, kaya ve suyun, bir günün çeşitli saatlerinde yayınladıkları termal ışınların miktarları Şekil No: 11 deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde; güneşin doğusundan biraz önce; toprak ve kayalardan yayınlanan termal ışınların sudakin-den daha az olduğu, eğrilerdeki eğimlerinde az olduğu görülmektedir. Güneş doğduktan sonra, toprak ve kayalara ait eğri süratle yükselmekte, öğleden sonra en yüksek noktaya ulaşmakta, daha sonra alçalmakta ve güneş battıktan sonra, suya ait grafiğin daha aşağısına inmektedir.



Şekil No: 11

Toprak, kaya ve suyun, bir tam günde yayınladıkları Termal Enerjiler arasındaki farkları gösteren şekil. Suyun gündüz ve gece yayınladığı Termal enerjiler (ışınlar) arasındaki fark çok azdır. Şekilde suya ait grafiğin, bir yatay doğruya yakın olduğu görülmektedir. Toprak ve kaya geceleri, sudan daha az gündüzleri ise daha çok, Termal enerji yayınlamaktadırlar. Toprak ve kayaların, Termal enerjiyi en fazla yayınladıkları saatlerde, yani sudan farklı yayın yaptıkları saatlerde incelenmeleri, gerekmektedir. Aksi halde su ile karışırlar.

Isının en yüksek, ısınmasının ve soğumanın en süratli olduğu saatlerde yapılan Termal Tarama, obje hakkında en ayrıntılı bilginin elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil No: 11 de görüldüğü üzere, suyun ısı, toprak ve kayalara kıyasla çok daha yavaş değişmektedir, en yüksek değerine de diğer objelerden 1-2 saat daha geç ulaşmaktadır. Suyun ısı, gündüzleri çevresinden daha az, geceleri de daha fazladır. Güneşin doğuşundan ve batışından biraz sonra, suyun ısı, çevresinin ısısına eşit olur. Bu saatlerde, sulardan yükselen termal ışınlar, çevrelerindeki arazilerden yükselenlere eşit olmakta, bu nedenle de birbirlerinden ayırt edilememektedir.

Dünya yüzeyinde bulunan çeşitli objeleri, birbirlerinden ayırtedebilmek için, herbirinin en büyük değere ulaştığı, yani Termal enerjiyi en fazla yayınladığı saatleri bilmek ve incelemeyi o saatlerde yapmak gerekir. Bir objenin, içersinde termal enerji biriktirme kapasitesine «Termal Kapasite» denilmektedir. Örneğin, Termal enerji madeni levhalardan çok kolay geçmekte fakat; kayalardan geçemekte içlerinde birikmektedir. Kayaların «Termal Kapasiteleri», madeni levhalarinkinden daha büyüktür. Aynı şekilde, suyun Termal Kapasitesi de, diğer maddelerin Termal Kapasitelerinden daha büyüktür. Termal Enerjinin, bir maddenin içinden geçme süratine o maddenin «Termal Conductivity» denilmektedir. Madeni levhada bu değer çok yüksektir. Bir maddedeki ısının, termal enerjinin etkisiyle değişmesine, o maddenin «Termal İnertansı» denilmektedir. Bu değer, maddenin Termal Kapasitesine, Termal Conductivitesine ve yoğunluğuna bağlıdır. Genel olarak; Termal İnertiaları yüksek

olan maddelerin yüzeylerindeki ısı, düşük olanlara kıyasla daha üniformdur. Bu özellik gece ve gündüz, değişmemekte, aynen kalmaktadır.

Objelerin, gündüz güneş ışınlarının etkisiyle ısınmaları farklı olmaktadır. Bu farklar; objelerin Termal özelliklerine, güneş ışınlarını absorbe etme derecelerine, özellikle gözle görülebilen ve yakın kızılötesi ışınların absorbe ediliş oranlarına bağlıdır. Yansıyan güneş ışınlarının miktarı, dalgaboyu 3-5 mikron olan ışınların, görünümlü elde etmede hangi oranda yararlı olabileceğini belirlemektedir. Fakat; aynı güneş ışınları, dalga boyu 8-14 mikron olan ışınların aynı amacın gerçekleşmesine ne kadar yararlı olabileceğini belirleyememektedirler. Termal Tarayıcılarla gündüz alınan fotoğraflardaki gölgeli yerler, çevrelerinden daha serin olduklarından, farklı görünürler. Ağaçlar, binalar ve dik yamaçlar, güneş ışınlarını tuttuklarından, aralarında gölgeli ve serin bir alan kahr, bu yerler termal tarayıcılarla alınan fotoğraflarda görülür. Yamaçlar, bakış yönlerine göre, farklı şekillerde ısınırlar, Termal Tarayıcılar bu farkları belli ederler. Kuzey yarım kürede bulunan ve güneye bakan yamaçlar, kuzeye bakan yamaçlardan daha fazla güneş ışını alır ve daha çok ısınırlar. Bütün bunlar, Termal Tarayıcı ile alınan fotoğraflarda kendilerini belli ederler. Bu karışıklıklardan kurtulabilmek için, jeologların büyük çoğunluğu, Termal Tarayıcının güneşin doğuşundan biraz önce çalışmasını isterler. Böylelikle hem gölgelerin etkisinden hem de, yamaçların değişik yönleri bakmalarından doğan aksaklıkları ortadan kaldırmış olurlar. Çok karanlık olan gecelerde, uçuşu yapan pilotlar, araziye göremediklerinden, uçuş planını tam olarak uygulamakta güçlük çekerler. Enerji santrallerinden yükselen termal ışınlar, uçuş saatlerinin saptanmasında etkili olurlar. Açıklanan bu özelliklerin dikkate alınarak Termal taramaların yapılması gerekir.

Termal Tarayıcılarla alınan fotoğraflarda siyah görülen yerler, serin veya soğuk alanları, açık renkte görülenlerde sıcak alanları belirlerler. Bu, Termografin temel kuralıdır, diğerleri kural dışı kalan durumlardır.

Su dolu bir havuz, gündüzleri çevresinden daha serin olduğundan, Termal Tarayıcıyla gündüz alınan fotoğrafında siyah görünür. Aynı havuz, geceleri çevresinden daha sıcak olduğundan, aynı yöntemle alınan fotoğrafta beyaz görünür. Gündüzden geceye ve gecedan gündüze geçerken havuzun rengi grileşir. Çevresi devamlı olarak buz veya karla kaplı olan su birikintilerinin ısıları, gecede gündüzde çevrelerinden daha sıcaktır. Bu şekildeki su birikintilerinin, Termal Tarayıcı ile alınan fotoğrafları, ister gece alsın isterse gündüz, çevrelerinden daha açık renkte görülürler.

Ağaçla kaplı alanların ve ormanların Termal Tarayıcı ile alınan fotoğrafları, yukarıda adı geçen havuzun fotoğraflarına benzemektedir. Geceleri ormanlar, açık araziden daha sıcak olduklarından, Termal Tarayıcı ile gece alınan fotoğraflarda koyu renkte, gündüz alınanda ise açık renkte görülürler. Ağaçların gölgeleri, gündüz alınan fotoğraflarda, serin olduklarından koyu renkte görünürler, gece alınanlarda ise görülmezler. Yollar, gündüz çekilen resimlerde, çevrelerinden daha sıcak olduklarından açık renkte, gece çekilenlerde ise tersi olduğundan koyu renkte görülürler. Açık arazide bulunan hayvanlar, geceleri çevrelerindeki araziden daha sıcak olduklarından, gece çekilen Termal fotoğraflarda beyaz noktalar halinde görünürler. Aynı şekilde, binaların damları, çevrelerindeki araziden daha sıcak olduklarından, açık

renkte görülürler. Çevresinden biraz daha sıcak olan objelerin hepsi, gece çekilen Termal fotoğraflarda, açık renkli olarak görülür ve belirlenirler.

KAYNAKLAR

WP 6, s. 5.1 - 5.5.

American Society of Photogrammetry, Manual of Remote Sensing, Vol II - Interpretation, and Falls Church, Virginia, 1975, 1775 s. (869-2144).

AYTAÇ, M., 1980. *Fotogrametri ve Uzaktan Algılamanın Türkiye'de Uygulanması, İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü Dergisi, Sayı 23, s. 161-170.*

CARVER, K., 1982. *The NASA Radar Remote Sensing Program, IEEE Digest 1982,*

ALVARADO, A., 1982. *Sensor Technology for Future Atmospheric Observation Systems, IEEE Digest 1982, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium. Münih, Vol. 1, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium, Münih, Vol. 1, TP 7, s. 1.1 - 1.6.*

ERDİN, K., 1986. *Fotoyorumlama ve Uzaktan Algılama, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3404, İstanbul, 183 s.*

FINSTERWALDER, R. - HOFMANN, W., 1983. *Photogrammetrie, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1968 (Tercümesi: Aytaç, M. - Örmeci, C. - Altan, O., Fotogrametri, İTÜ Kütüphanesi Sayı 1242, İstanbul. 456 s.).*

GUIDNARD, J. - BRUZZI, S. - PIKE, T., 1982. *Charakterization of SAR-Images, IEEE Digest 1982, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium, Münih, Vol. 2, TA 5, s. 1.1 - 1.6.*

KAYDEL, W., 1982. *Application Possibilities of Active Microwave Systems for Remote Sensing. A Survey of Respective DEVLAR Activities, IEEE Digest 1982, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium, Münih, Vol. 1, WP 8, s. 1.1 - 1.5.*

NASA, SKYLAB, 1977. *Earth Resources Data Catalog, No. 3300 - 00586, US Government Printing Office, Washington D.C.*

ÖRMECİ, C., 1987. *Uzaktan Algılama, İTÜ, İstanbul.*

THOME, P., 1982. *The Use of the Space Shuttle for Land Remote Sensing, IEEE Digest 1982, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium, Münih, Vol. 1, WA 9, s. 3.1 - 3.6.*

TOKMANOĞLU, T., 1983. *Fotogrametri, İ.Ü. Orman Fak. Yayınları, No. 298, İstanbul, 146 s.*

WELLMAN, J. - BRECKINRIDGE, J. - KUPFERMAN, P. - SALAZAR, R., 1982. *Imaging Spectrometer: An Advanced Multispectral Imaging System Concept, IEEE Digest 1982, Int. Geosci. Remote Sensing Symposium, Münih, Vol. 1, WP 2, s. 4.1 - 4.5.*

WOLF, P.R., 1974. *Elements of Photogrammetry (with air photo interpretation and remote sensing), McGraw-Hill Book Company, 562 s.*