

Using thermal infrared imagery produced by unmanned air vehicles to evaluate locations of ecological road structures

Sercan Gülci^{1*}, Abdullah Emin Akay²

¹ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Forestry, 46100, Kahramanmaraş, Turkey

² Bursa Technical University, Faculty of Forestry, 16200, Bursa, Turkey

* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): sgulci@ksu.edu.tr

Received (Geliş): 14.07.2015 - Revised (Düzeltilme): 21.08.2015 - Accepted (Kabul): 22.08.2015

Abstract: The aerial photos and satellite images are widely used and cost efficient data for monitoring and analysis of large areas in forestry activities. Nowadays, accurate and high resolution remote sensing data can be generated for large areas by using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) integrated with sensors working in various spectral bands. Besides, the UAV systems (UAVs) have been used in interdisciplinary studies to produce data of large scale forested areas for desired time periods (i.e. in different seasons or different times of a day). In recent years, it has become more important to conduct studies on determination of wildlife corridors for controlling and planning of habitat fragmentation of wild animals that need vast living areas. The wildlife corridors are a very important base for the determination of a road network planning and placement of ecological road structures (passages), as well as for the assessment of special and sensitive areas such as riparian zones within the forest. It is possible to evaluate wildlife corridors for large areas within a shorter time by using data produced by ground measurements, and remote sensing and viewer systems (i.e. photo-trap, radar and etc.), as well as by using remote sensing data generated by UAVs. Ecological behaviors and activities (i.e. sheltering, feeding, mating, etc.) of wild animals vary spatially and temporally. Some species are active in their habitats at day time, while some species are active during the night time. One of the most effective methods for evaluation of night time animals is utilizing heat sensitive thermal cameras that can be used to collect thermal infrared images with the night vision feature. When the weather conditions are suitable for a flight, UAVs assist for determining location of corridors effectively and accurately for moving wild animals at any time of the day. Then, the most suitable locations for ecological road structures can be determined based on wildlife corridor data. In this study, the possibilities of using remote sensing data within thermal band produced by UAVs were investigated for positioning of ecological road structures.

Keywords: Unmanned aerial vehicles, ecological road structures, road networks, wildlife movement corridors

Ekolojik sanat yapılarının lokasyonlarının değerlendirilmesinde insansız hava araçları ile üretilen termal kızılötesi görüntülerin kullanılması

Özet: Ormanlık çalışmalarında çoğunlukla hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri geniş alanların takibinde ve analizinde kullanılan uygun maliyetli verilerdir. Günümüzde, İnsansız Hava Araçları (İHA) ve bu araçlara monte edilebilen farklı dalga boylarında enerjiyi algılayabilen sensörler sayesinde geniş alanlarda hassas ve yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verileri elde edilebilmektedir. Ayrıca, İHA sistemlerinin kullanılarak geniş ormanlık alanlara ait veriler, disiplinler arası çalışmalarda istenilen zaman aralığı (farklı mevsimlerde veya günün farklı saatlerinde) için üretilmektedir. Son yıllarda, geniş yaşam alanına ihtiyaç duyan yaban hayvanlarının habitatlarında meydana gelen parçalanmaların kontrol altına alınması ve planlanmasında yaban hayvanı geçit koridorlarının tespitine yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Yaban hayvanı geçit koridorları; yol ağlarının planlanması ve ekolojik geçitlerin lokasyonlarının belirlenmesinin yanı sıra orman içi su kenarı zonları gibi biyolojik çeşitlilik bakımından zengin ve hassas alanların da değerlendirilmesinde önemli bir altlık oluşturmaktadır. Yaban hayvanı geçit koridorlarının belirlenmesinde yersel ölçümler, algılayıcı ve görüntüleyici sistemler (fotokapan, radar vb.) ile üretilen verilerin yanı sıra, İHA sistemleri ile üretilen uzaktan algılama verileri kullanılarak geniş alanlar kısa

Cite (Atf) : Gulci, S., Akay, A.E., 2016. Using thermal infrared imagery produced by unmanned air vehicles to evaluate locations of ecological road structures. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(2): 698-709. DOI: [10.17099/jffiu.76461](http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.76461)



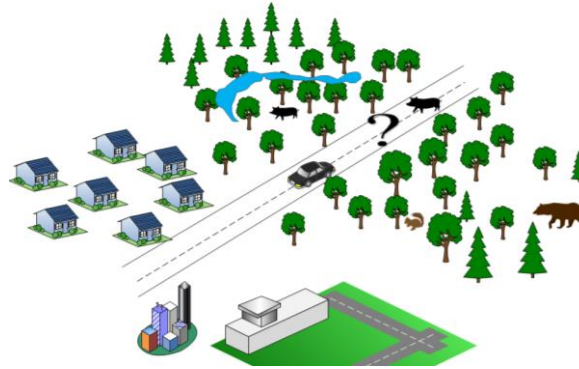
sürede değerlendirilmektedir. Yaban hayvanları türlerinin ekolojik davranışları ve aktiviteleri (barınma, beslenme, üreme, vb.) mekansal ve zamansal olarak farklılıklar göstermektedir. Kimi yabani türler gündüz saatlerinde aktif olarak yaşam alanlarında gözlenirken, bazı diğer türler geceleri aktif olarak yaşamlarını sürdürmektedir. Geceleri aktif olarak gezinen türlerin takibi ve belirlenmesinde, en etkili metotlardan biri termal kızılötesi aralıkta veri toplama özelliğine sahip, ısıya duyarlı termal kameraların ve gece görüşlü kameraların kullanılmasıdır. Hava koşullarının uçuş için uygun olduğu durumlarda günün her saatinde İHA sistemleri, hareket halinde bulunan yaban hayvanlarının geçit koridorlarının etkin ve doğru olarak lokasyonlarının belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Daha sonra, bu koridorlara ait bilgilerin kullanılması sayesinde ekolojik sanat yapıları için en uygun lokasyonlar belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, ekolojik sanat yapılarının konumlandırılmasında İHA ile üretilen termal aralıkta uzaktan algılama verilerinin kullanım olanakları üzerinde durulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava araçları, ekolojik sanat yapıları, yol ağları, yaban hayvanı geçit koridorları

1. GİRİŞ

Ormancılık çalışmalarında elde edilen uzaktan algılama verilerinden genellikle hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanımı oldukça yaygındır. Yüksek çözünürlükte uydu görüntüleri veya hava fotoğraflarının elde edilmesi araştırmacıya maliyet ve zaman açısından uygun değildir. Bu nedenle daha hassas verilerin elde edilmesi yanı sıra zaman ve mekan kavramlarını araştırmacının lehine çeviren oldukça pratik ve ekonomik fayda sağlayan İHA taşıtları günümüz alternatifleri arasında yer bulmuştur (Wing ve ark., 2014; Akgül ve ark., 2016).

Yoğun ormancılık faaliyetleri ve yapılaşmanın artması neticesinde doğal yapılarını kaybederek canlılar için özellikle yaban hayvanları açısından uygun olmayan ortamlar meydana gelmiştir. Ülkemizde artan yapılaşma sonucunda daralan yaşam alanlarında özellikle yol güzergahlarında ihtiyaç duyulan ekolojik geçit noktalarına uygun sanat yapılarının planlanması hedeflenmektedir (Şekil / Figure 1). Yaban hayvanı geçit koridorlarının belirlenmesi ve planlanması ekolojik geçit olma potansiyeline sahip noktaların belirlenmesinde uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımı uygun maliyetli başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır (Gülci, 2014). Karmaşık verilerin değerlendirilmesi standartlaştırılması ve normalleştirilerek karar değişkenlerinin bir araya getirilmesinde karar destek sistemleri ile desteklenmiş bütünleşik CBS uygulamaları başarılı uygunluk analizleri tercih edilmektedir (Gülci, 2014).



Şekil 1. Uygun ekolojik sanat yapısı olmayan yollarda yaban hayvanı temelli kaza riski
Figure 1. Wild animal related accident risks at roads without suitable ecological road structures

Yaban hayvanları ekolojik ihtiyaçlarına göre her biri kendine has davranış ve yaşam tarzına sahip bireyler olarak davranırken kimi zaman kendi içerisinde hiyerarşik toplumsal bir yapı sergilemektedir. Gün içerisinde farklı zaman dilimlerinde gündüz veya gece (diurnal veya nocturnal) aktif olarak yaşam alanlarında yaşamlarını ahenk içerisinde sürdürmektedir. Bu nedenle, yaban hayvanları ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça zor ve zahmetlidir. Arazide birebir gözlem ve teknik takiple (fotokapan, radyo sinyalli ve GPS vericili aletler gibi) yaban hayvanlarına ait gezinme güzergahları tespit edilen yaban hayvanları için koridorların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uzun vadeli ve zahmetli bir çalışmayı gerektiren bu

yöntemler yaban hayvanı koridorlarının belirlenmesinde başarılıdır. Ancak, çok sayıda uzman personel ihtiyacı ve buna bağlı artan maliyetli iş süreçlerini kapsamaktadır.

Uzaktan algılama yöntemleri sayesinde türün ekolojik isteklerine göre elde edilen yaban hayvanı geçit koridorlarının tespitinde uzaktan algılama çalışmaları alternatif bir yöntemdir. Araştırmada kullanılacak uzaktan algılama verilerin hassasiyetine bağlı olarak elde edilen uygunluk analizlerine ait doğruluk oranları değişkenlik göstermektedir. Önceden belirlenen yaban hayvanı koridorlarının geçerliliklerinin tespitinde gece veya gündüz sabit görüntüleme sistemleri (fotokapan) oldukça kullanışlı ve başarılı yöntemlerdendir (Gülci, 2014). Ancak, araştırma alanının büyüklüğü ve koridor güzergahlarının uzunluğu düşünüldüğünde yoğun arazi çalışmaları gerektiren yöntemlerdendir.

Teknolojik gelişmelerin ışığı altında bilimsel araştırmalarda kullanımı oldukça yaygın hale gelen İHA taşıtları uzaktan manuel veya programlanmak suretiyle otomatik olarak havada seyrü sefer yapabilen hava araçlarıdır. Kullanım olanaklarının artırılmasıyla özel tasarımı profesyonel aletlerin amaca göre İHA üzerine monte edilebilen uygun maliyetli ölçüm araçları haline getirilmiştir (Wing ve ark., 2014; Akgül ve ark., 2016). Doğal kaynakların yönetiminde ve planlanmasında kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir (Shahbazi ve ark., 2014).

Yaban hayvanı geçitlerinin belirlenmesinde İHA kullanımı zaman ve mekan bakımından önemli kazanım olduğu kadar türlerin varlığı ve koridor kullanımı üzerinde oldukça başarılı yöntemlerdendir. Gün içerisinde istenilen zaman diliminde İHA üzerine monte edilebilen termal kızılötesi aralıkta veri toplama özelliğine sahip ve ısıya duyarlı termal kameralar kullanılmaktadır (Rogalski, 2003). Gece ve gündüz yollarda kazalara sebep olan yabani av hayvanlarının belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılan yaygın yöntemlerdendir (Morelle ve ark., 2012).

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Bilimsel ve teknik araştırmalarda sağladığı esneklik, güvenlik, yüksek hareket kabiliyeti ve istenilen şekilde programlanabilme olanakları yanı sıra uygun maliyetli uzaktan algılama aracı olarak tercih edilmektedir (Wing ve ark., 2014). Son yıllarda, ülkemizde de kullanımı artan İHA türleri ticari olarak birçok marka ve modelde kullanıcıların isteklerine göre uyarlanmış ya da kullanıcıların uyarlamasına izin verdiği programlanabilir algılayıcı sistemler üretmektedir. İnsansız hava aracı üzerine monte edilebilen ve uyarlanabilen sistemler sayesinde birçok sivil uygulama gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalardan bazıları ormancılık faaliyetlerinde ve hassas tarım çalışmalarında, meteorolojide, arama-kurtarma faaliyetlerinde, yaban hayatı araştırmalarında, yapı denetiminde, trafik kontrolü ve gözlemlerinde, doğal afetler ve peyzaj planlamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Shahbazi ve ark., 2014). Farklı model ve boyutlarda araştırma konusunun gerektirdiği donanımına sahip hafif İHA araçlarının tek veya çok rotorlu helikopter, uçak ve jet tipi tasarıma sahip çeşitleri kullanılmaktadır. Ekolojik araştırmalarda yavaş hareket kabiliyetine sahip 20 kg'dan hafif küçük, mini, mikro ve nano İHA sınıfları tercih edilmektedir (Hardin ve Jensen, 2011) (Şekil / Figure 2).



PD100 Black Hornet (Nano)



XM-6 Ti-QR (Mini)



Raven B Gimbal (Mini)

Şekil 2. Nano ve Mini İHA sınıflarına ait örnekler
Figure 2. Samples for Nano and Mini UAV classes

Askeri standartlarda farklı tipte ve kategoride büyük İHA sınıfları kullanılırken uçuş zamanları daha kısa olan ekonomik ve düşük kapasiteli sivil kişilerin üretebileceği ekolojik amaçlı kullanılan araç sınıfları bulunmaktadır (Wing ve ark., 2014; Akgül ve ark., 2016) (Tablo / Table 1).

Tablo 1. Ekolojik çalışmalarda kullanılan İHA sınıfları (Watts ve ark., 2012)
Table 1. UAV classes used in ecological studies (Watts et al., 2012)

İHA Sınıfı	Özellik	Ağırlık	Kullanım Açıklamaları
Küçük	Uçuş mesafesi (< 10 km) Uçuş süresi (< 2 saat) İrtifa (< 1 km)	<30 kg	-Görüş aralığında uçuş -Genellikle delta kanat tipi -Basit fırlatma rampası ile kalkış ve minimal iniş gereksinimleri, -Uçuş planlaması, doğrudan radyo kontrolü veya otomatik pilotla gerçekleştirme
Mini		=<5 kg	
Mikro	Uçuş mesafesi (< 10 km) Uçuş süresi (< 1 saat) İrtifa (< 250 m)	<5 kg	-Görüş aralığında uçuş -El ile fırlatma -Yumuşak iniş yeri ihtiyacı -Genellikle helikopter tipi -Pervane kontrollü uçuş -Uçuş planlaması, doğrudan radyo kontrolü veya otomatik pilotla gerçekleştirme
Nano		<5 kg	

2.1 Çok rotorlu (Multikopter) tipi İHA

Termal kamerayı ve ekstra olarak görünür aralıkta renkleri algılayabilen fotoğraf makinesini üzerinde taşıyabilecek güce sahip gece ve gündüz uçuşlarında kullanılmak üzere manuel ve önceden nokta veya güzergahlarda uçuşu programlanabilen, otomatik uçuş olanağı sağlayan çoklu işlemciye sahip, havada sabitlenebilen yatay ve dikey hareket kabiliyetine sahip çok rotorlu helikopter tipi İHA platformu tercih edilmiştir. Piyasada parça temini ve teknik desteği bulunan referans olarak bilimsel araştırmalarda tercih edilmiş ticari marka olan Draganfly marka X4-P serisi mini İHA tercih edilmiştir. Havada minimum 20-25 dak. kalabilme yeteneğe ve 800 gram ağırlığa kadar taşıma kapasitesine sahiptir. Taşınması ve muhafaza edilmesi için karbondan üretilmiş bu platform oldukça ergonomik olarak tasarlanmıştır (Şekil / Figure 3). Watts ve ark., (2012)'in tanımına göre Draganfly X4-P mini İHA sınıfı için uygun standartlardadır. Ticari bir marka olan Draganfly'nin üretici firma yetkililerinden istenilen özellikte donatılarak kullanıcıya teknik malzeme ve yazılım desteği sağlamaktadır. Ekolojik geçit noktalarında uygulanacak sanat yapılarına ait konumların belirlenmesinde profesyonel olarak kullanılacak İHA platformu ve sistemleri Tablo / Table 2'de özetlenmiştir (DFPL, 2014). Opsiyonel olarak araştırma amacına göre modifiye edilebilir yapısı nedeniyle alternatif türevlerinin arasında öne çıkmaktadır.

Draganflyer X4-P otomatik pilot sistemine sahip bir platform olup acil durumlarda eve dönüş yapabilmektedir. Kalkışını otomatik olarak gerçekleştirdikten sonra manuel olarak programlanmış güzergahların dışına çıkma imkanı sağlamaktadır. Draganflyer X4-P'ye ait önemli teknik bilgiler Tablo / Table 3'te belirtilmiştir.



Şekil 3. Draganflyer X4-P ve platforma monte edilmeye hazır Sony QX100 ve Flir Tau 2 640 kameralar
Figure 3. Draganflyer X4-P and Sony QX100 and Flir Tau 2 640 cameras ready to be mounted on the platform

Tablo 2. Yaban hayatı tespiti için önerilen malzemeler
Table 2. Suggested materials for wildlife detection

Malzeme	Açıklama	Maliyet
Draganflier X4-P black cap	4 rotorlu (Quadcopter) temel uçuş platformu	
Gyro dengeli kamera tutucu	Fotoğraf makinesine hareket kabileti ve denge sağlama	
El tipi kumanda ve LCD Ekran	Manuel olarak uçuş kontrolü ve gerçek zamanlı gözlem için	15.995 \$
Sony RX100-III	Normal fotoğrafılamada kullanım	
Thunderpower TP820CD	LiPo bataryaların şarj edilmesi için	
Flir Tau 640 2, 13 ve 19 mm'lik geniş açılı lens	Termografi çekimlerinde kullanım	6.995 \$
Sony QX 100	Termal kamera ile birlikte görünür aralıkta 20.2 MP çekim yapmakta kullanım	
LiPo batarya 5400 mAH, 14.8 V 4 hücreli	En az 20-30 dk uçuş sağlamak amacıyla	349 \$
Draganflier yer kontrol ünitesi	Gerçek zamanlı görüntü, uçuş bilgileri düzenleme ve uçuş bilgilerini görme, kaydetme ve aktarma birimleri	9.995 \$
Yazılım	Verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi için tercih edeceğimiz yazılım.	3.000 \$ (Ortalama)
Toplam Maliyet		36.334,00 \$

Tablo 3. Draganflier X4-P'ye ait teknik özellikler
Table 3. Technical specification of Draganflier X4-P

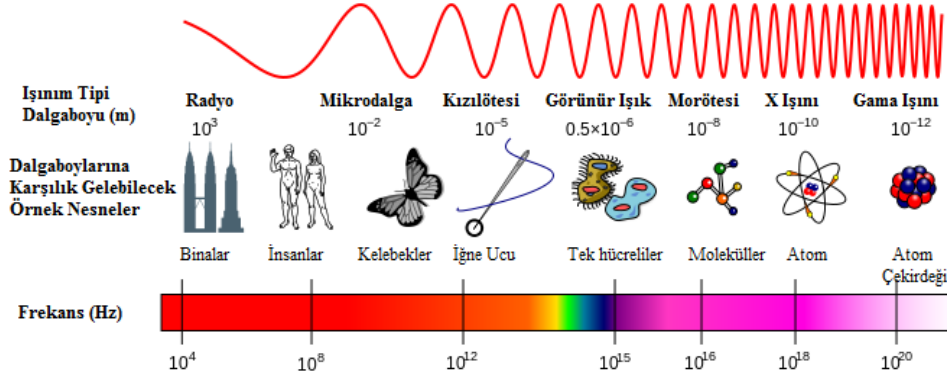
Nitelik	Değer
Genişlik	87 cm
Uzunluk	87 cm
Üst yarıçap	107 cm
Boy	30 cm
Ağırlık	1,67 kg
Yük kapasitesi	0.8 kg
Maksimum kalkış ağırlığı	2,470 kg
Maksimum tırmanma oranı	2 m/s
Maksimum iniş oranı	2 m/s
Maksimum dönüş oranı	90 derece/saniye
Yaklaşık uçuş Hızı	50 km/h
Minimum uçuş hızı	0 km/h
Maksimum irtifa	2438 m
3 m yakınında ortaya çıkardığı gürültü	62 db

3. TERMAL GÖRÜNTÜLEME

Kızılötesi enerji bir başka deyişle sıcaklık olarak algıladığımız his, elektro-manyetik spektrumun bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Dalga uzunluğu nedeniyle insan gözünün tespit edemediği görünmez olan ışıktır (Şekil / Figure 4). Dünyada var olan bütün nesnelere ısı tutucu olduğu kadar ısı yansıtıcıdır. Mutlak sıfırın üzerinde sıcaklığa sahip nesnelere hepsi ortama ısı yaymaktadır (Corsi, 2012). Endüstri sanayinden askeri sanayiye ve daha birçok bilim alanında geçmişten günümüze sorunların çözümünde ve bilimsel araştırmalarda yaygın olarak değerlendirilen kaynaktır (Tokmanoğlu, 1987; Rogalski, 2003).

Günümüzde gözle görülemeyen ısı kaynaklarının tespitinde oldukça yaygın olarak kullanılan çeşitli sıcaklık algılayıcılar bulunmaktadır. Bu algılayıcılar arasında infrared enerji dalgalarını tespit ederek

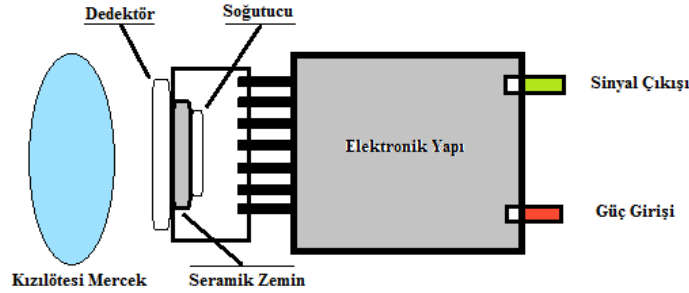
belirleyen termal görüntüleme araçları bulunmaktadır. Askeri ve sivil amaçlı geniş alanlarda kullanılan bu araçlar oldukça yüksek maliyetli olarak piyasaya sunulmaktadır (Rogalski, 2003).



Şekil 4. Elektro manyetik spektrum dalga boyları (NASA, 2014)
Figure 4. Wavelengths of the electromagnetic spectrum (NASA, 2014)

3.1 Termal görüntüleme kameraları

Termal kameralar nesnelere yansıyan kızılötesi enerjiyi, optik mercekler yardımıyla kamera içindeki kızılötesi dedektör üzerine düşürür. Bu dedektör resmin işlenmesi için bilgileri elektronik sensörlere aktarmaktadır (Şekil / Figure 5). Elektronik yapıda bulunan sinyal işleme birimleri sayesinde insan gözünün algılayabileceği bir resme dönüştürmektedir (Tokmanoğlu, 1987). Termal kameraları iki kategoride değerlendirmek mümkündür. Soğutmalı ve soğutmasız sistem termal kameralar olarak ikiye ayrılmaktadır. Soğutmalı sistemde kimyasal yardımıyla algılayıcı sensörün soğutulması yapılarak ısıya daha duyarlı hassas görüntüleri elde etmek için kullanılan oldukça pahalı ısı algılayıcı sistemlerdir. Soğutmasız sistemli termal kameralar ise taşınması daha kolay ancak çözünürlükleri ve hassasiyetleri sınırlı kapasitede olan ısı algılayıcılarıdır (Zhao ve ark., 2002; Rogalski, 2003; Toy ve ark., 2008).



Şekil 5. Termal algılayıcı kameraların yapısına ait basit şematik gösterim
Figure 5. Structural scheme for thermal sensed cameras

Termal kamerayla çekilen ısı fotoğrafları (termografi) çok sıcak noktaları açık renkle, soğuk noktaları ise koyu renkle göstererek ısının kaynağını kolayca bulmada yardımcı olmaktadır. Termal kameralar ortamın durumunu siyah - beyaz veya renkli gösterirler (Tokmanoğlu, 1987). Renkli olarak gösterdiği durumlarda ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi en soğuk, sarı ise en sıcak bölgeleri gösterir. Termal kameralar yalnızca gece değil aynı zamanda gündüz kullanımı içinde uygun görüntüleme araçlarıdır. Bu kameralar yakın kızıl ötesi gece çekimi yapabilen kameralar ile karıştırılmamalıdır. Normal kameralarda kullanılan CCD (Charge Coupled Device) ve CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) görüntü sensörleri görünebilir ışıkları algılayabilecek şekilde tasarlanmıştır ve kızılötesi (infrared) ışığa karşı duyarlı değildir. Bu yüzden birçok termal görüntüleme kamerası özellikle bu iş için üretilmiş Focal Plane Arrays (FPA) görüntü sensörlerini kullanmaktadır (Zhao ve ark., 2002; Eminoğlu ve ark., 2008).

Maliyet ve ergonomi bakımından soğutmalı termal kameralara göre daha uygun olan soğutmasız termal kameralar hafif İHA çalışmalarında tercih edilen ısı algılayıcılarıdır. Piyasada ticari olarak İHA üzerine monte edilebilir bir çok farklı model bulunmaktadır. Ticari marka olarak sunulan FLIR soğutmasız TAU 2 160, 320 ve 640 modelleri veya daha gelişmiş modeli olan Quark 2 modeli birçok İHA yardımıyla görüntü verisi elde etmede kullanılmaktadır (FLIR, 2015) (Şekil / Figure 6). Kullanım amacına ve maliyet bakımından uygun termal kamera özelliklerinin belirlenmesinde ön plana çıkan bazı teknik terimler ve değerler iyi bilinmelidir. Bunlar;

- Kızılötesi ışınım (Infrared ışınım): Kameranın kayıt edebildiği sıcaklığa ait değeri ifade eden ölçüm sayısıdır.
- Algılanabilir en küçük nesne: Bir pikselde algılanabilen en küçük boyuttur.
- Ölçülebilir en küçük nesne: Sıcaklığının kesin olarak ölçülebildiği en küçük nesnedir.
- Bir piksel: Kızılötesi ışınımını kaydeden ve elektrik sinyallerine çeviren dedektörün kapasitesidir.
- Görüş alanı: Kameranın lensine bağlı olarak gördüğü alandır.
- Termal duyarlılık: Kameranın algılayabileceği sıcaklık farkını bir başka ifadeyle hassasiyetini ifade etmektedir.



Şekil 6. Multikopter tipi platform üzerine yerleştirilmiş FLIR marka TAU 2 modellerine ait görüntüler (URL, 2014)
Figure 6. Images taken by FLIR brand TAU 2 models mounted on multicopter type platform (URL, 2014)

3.2 Termal kamera

Araştırma alanında belirlenen yaban hayvanı geçit güzergahları ve bu güzergahların yollar ile kesiştiği ekolojik geçit noktalarının gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi açısından FLIR marka TAU 2 640 model termal kamera değerlendirilmiştir (Şekil / Figure 7). Teknik yapısı İHA üzerine rahatça monte edilebilen küçük boyutlu ısı algılayıcı ve gerektiğinde programlanabilir özelliğe sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir (Tablo / Table 4). Ticari marka olarak satışı yapılan TAU 2 modele ait üç farklı özellikte maliyet açısından diğer termal kameralara göre uygun olmaları ve geniş/dar açı lens seçeneklerinin üretici firma tarafından sağlanması kullanım olanaklarının artırılmasında önemli etkenlerden olmuştur. Tau 2 modellerine ait fiziksel özellikler Tablo / Table 5'te verilmiştir (FLIR, 2015a).



Şekil 7. Soğutmasız sistemli Flir Tau 2 640 (solda) ve Flir Quark 2 (sağda) modelleri

Figure 7. Flir brand Tau 2 640 (left) and Quark 2 (right) models without cooling system

Tablo 4. Flir marka TAU 2 640, 336 ve 324 model termal kameralara ait teknik bilgiler
Table 4. Technical specifications of Flir brand TAU 2 640, 336, and 324 model thermal camera

Özellikler	TAU 2 640	TAU 2 336	TAU 2 324
Termal görüntüleyici	Soğutmasız Vanadyum Oksitli (VOx) Mikrobolometre		
FPA Formatı	640 × 512	336 × 256	324 × 256
Analog Video Gösterim Hızı ve Formatı	30 Hz. 640 × 480 (NTSC)	25 Hz., 640 × 512 (PAL)	
İhraç edilen hız oranları	7,5 Hz. (NTSC), 8,3 Hz (PAL)		
Piksel aralığı	17 mikron (µm)	25 mikron (µm)	
Spektrum Aralığı	7.5 - 13.5 mikron (µm)		
Giriş gücü	4,0 - 6,0 Volt DC		
Güç dağılımı	< 1.2 W	<1.0 W	
Hassasiyet	<50 mK at f/1.0		
Algılanabilir sıcaklık aralığı	-40°C ile +550°C		
İlk açılış hızı, FFC aralığı	<3,5 sn., <0,5 sn.		
Görüntü optimizasyonu	Var		
Fabrika ayarı	Var		
Dijital Yakınlaştırma	2x-4x-8x	2x-4x	

Tablo 5. Flir marka TAU 2 model termal kameralara ait fiziksel ve çevresel bilgiler
Table 5. Physical and environmental specifications of Flir brand TAU 2 640, 336, and 324 model thermal camera

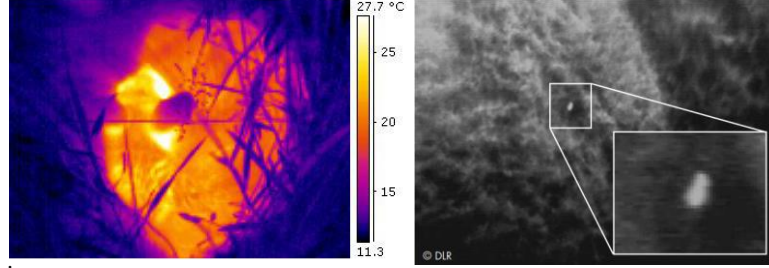
Özellikler	TAU 2 640	TAU 2 336	TAU 2 324
	Fiziksel Özellikleri		
Boyut (merceksiz)	4.5 x 4.5 x 3 cm		
4 geniş aç mercek opsiyonu	19 mm, 13mm		
4 geniş aç mercek opsiyonu	78 gram		
Dar aç mercek opsiyonları	25 mm, 35 mm, 60 mm, 100 mm		
Merceksiz versiyonlar	Mevcut		
İHA kullanımı	Var		
	Çevresel		
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile +80°C		
Saklama sıcaklığı	-55°C ile +105°C		
Sıcaklık şoku	Dakikada 5 derece		
Çalışma irtifası	12,192 km kadar (40.000 feet)		
Nem	Yoğunlaşmayan %5 ile %95 arası		

4. EKOLOJİK SANAT YAPILARI

4.1 İHS kullanımıyla yaban hayvanı çalışmaları

Yaban hayatı ile ilgili çalışmalarda birçok farklı envanter metodu bulunmaktadır. Doğrudan veya dolaylı olarak yapılan bu çalışmaların hemen hepsi arazide birebir gözlemlerle yapılan iş ve işlemler sürecini içermektedir. Yaban hayvanlarının havadan sayımları yapılarak tespiti uzun yıllardır gerçekleştirilen yöntemlerdendir (Cilulko ve ark., 2013). Geleneksel olarak havadan fotoğrafıma tekniği ile sayım yöntemleri ormanlık alanlarda çoğu zaman başarılı bir yöntem değildir. Geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanımı tercih edilen termal algılayıcı kamera yardımıyla özellikle geyik popülasyonlarının tespit çalışmalarında başarı sağlamaktadır. Termal algılayıcı sistemler yardımıyla yabancı hayvan tespiti çalışmalarında önemli diğer bir konuda maliyettir. Havadan termal algılayıcı sistemler yardımıyla tür tespit çalışmalarında alana geliş ve gidiş maliyeti hariç 10.000 ha'lık bir alanda yaklaşık maliyet 1600 \$ (ABD Doları)'nı bulmaktadır (Wiggers ve Beckerman, 1993). Çalışma alanında termal algılayıcı kamera kullanımıyla elde edilen verilerin başarı oranını topoğrafik yapı, bitki örtüsü kapallılıkları etkilemektedir (Haroldson ve ark., 2003; Oğurlu, 2004; Morelle ve ark., 2012).

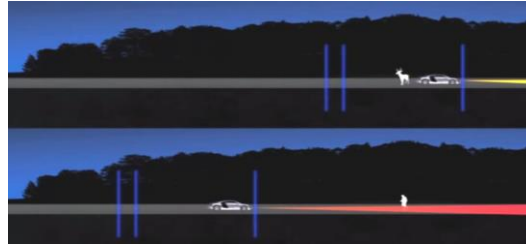
Teknolojik gelişmelere paralel olarak yenilenen yeni nesil termal algılayıcı kameralar yerden yaklaşık 450 m yükseklikte uçuşlarda yaban hayvanı popülasyonlarının belirlenmesinde etkin olarak kullanılmaktadır (Franke ve ark., 2012). Araştırma alanının sahip olduğu bitki türü ve kapalılıkları, alandaki yaban hayvanı popülasyon yoğunluğu ve ulaşım imkanları kesinlikle değerlendirilmeli ve yaban hayvanı tespitinde termal kameraların kullanımına karar verilmelidir (Cilulko ve ark., 2013). Termal algılayıcı kameraların yaban hayvanı tespiti çalışmalarında kullanım amacı iyi belirlenmelidir. İHA'ların kontrolünü sağlayan açık kaynak kodlu sistemler için özel olarak yazılmış algoritmaların kullanımıyla çalılıkların arasına saklanmış karaca yavruları dahi başarılı bir şekilde tespit edilmektedir (Israel, 2011) (Şekil / Figure 8).



Şekil 8. İHA üzerine monte edilmiş termal kamera ile tespit edilmiş karaca yavrusu (Israel, 2011)

Figure 8. Roe deer fawn detected with thermal camera mounted on a UAV (Israel, 2011)

Son yıllarda araştırma amacıyla kullanılan termal kameralar yalnızca İHA platformlarında değil aynı zamanda Amerika ve Avrupa'da meydana gelen yaban hayvanları kazalarının azaltılması için araçlara monte edilebilen termal kameralar da popüler hale gelmiştir. Gece yolculuğunda görülmesi zor olan canlıların far ışığında fark edilmesi yaklaşık 120 m mesafeyi bulurken termal kamera yardımıyla yaklaşık 300 m mesafeden fark edilmekte ve güvenli duruş mesafesini sağlamaktadır (FLIR, 2015). Bu nedenle yolda seyir halindeyken olası bir aksi durumda durma mesafesi için gerekli reaksiyon mesafesi, frenleme mesafesi ve emniyet uzaklığı sağlanmış olacaktır (Şekil / Figure 9). Hava şartlarının sürüş için uygun olmadığı zamanlarda ve gün ışığında dahi sürüş güvenliği açısından önemli bir yardımcı araç olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 9. Araçlara monte edilebilen termal kameralar

Figure 9. Thermal camera mounted on vehicles

4.2 Ekolojik geçitler

Orman içi ve kenarından geçen yolların yaban hayvanları üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Yaban hayvanı türleri ve hatta aynı türe ait bireylerinin dahi kendilerine has beslenme, korunma, üreme ve göç davranışı üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Yollar, yaşam alanların bölerek zaman içerisinde parçalamakta, bariyer etkisi yaratarak yaban hayvanlarının yaşam alanları arasındaki geçişlerine engel olmaktadır (Coffin, 2007; Oğurlu, 2004; Eker ve ark., 2010; Gülcü, 2014). Sosyal bir canlı olarak çoğu yaban hayvanı biyolojik istek ve ihtiyaçlarını karşılamak için yol zemini üzerinden bir başka uygun yaşam alanına geçmektedir. trafik yoğunluğuna bağlı olarak bu durum yollarda insan ve yaban hayvanı çatışmalarına neden olmaktadır. Son yıllarda, yaban hayvanlarının yaralamalı ve ölümlü kazalara karıştığı olaylarda artışlar Amerika ve Avrupa'da olduğu gibi dikkat çekici şekilde

ülkemizde de önemli bir sorun haline gelmiştir. Ülkemizde bu kapsamda Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yollar üzerinde ekolojik geçitlerin belirlenmesi amacıyla KARAYAP projesi başlatılmıştır.

Yaban hayvanlarının yaşam alanlarında parçalanmaların önüne geçmek ve sürdürülebilir kaynak yönetimi gerçekleştirilmesinin yanı sıra trafik güvenliğinin sağlanması amacıyla yaban hayvanı koridorları tespit edilmektedir (Beier ve ark., 2008; Gülci, 2014). Planlanması gereken yol ağlarının veya planlaması yapılmış yolların yaban hayvanları üzerindeki etkilerini azaltıcı çalışmalarda yine yaban hayvanı koridorları kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmalar yaban hayvanları isteklerini ele alarak tespit edilen özellikli alanlarda yolların bariyer etkisinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve çevre dostu yolların planlanması amacıyla ekolojik sanat yapıları konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Gülci, 2014; Gülci ve Akay, 2015).

4.3 Yaban hayvanı geçit koridorları

Günümüzde yaban hayatı koridoru olarak adlandırılan yaşam alanları arasında ekolojik bakımdan önemli alanları birbirine bağlayan özellikte koridorlardır. Yaban hayvanları açısından geçit koridorları iki farklı yaklaşım ile değerlendirilmektedir. Birinci yaklaşımda yaban hayvanlarının transit geçit olarak kullandığı koridorlar, ikinci yaklaşımda ise türlerin gezinme mesafelerine bağlı kalarak kullanabilecekleri yaşam alanları olarak değerlendirilir (Gülci, 2014). Yaban hayvanı koridorlarının planlanması ve yönetimi oldukça maliyetli koruma ve kollama çalışmalarındandır. Bu nedenle yaban hayvanı geçit koridorlarının belirlenmesinde çok sayıda alternatif değerlendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Planlama öncesinde alanda bulunan türlerin tespit edilen geçit güzergahlarını kullanıp kullanmadığını tespit etmek ve düzenli olarak takip edilmektedir (Simberloff ve ark., 1992; Beier ve ark., 2008).

4.4 Ekolojik sanat yapıları

Dünyada ve ülkemizde orman içi ve kenarı yollarında her türlü kara taşımacılığının sürekli ve düzenli olarak gerçekleştirilmesi, yol boyunca toprak kaymasını önlemek amacıyla istinat duvarı, sel ve akarsuların aşılması için her tipte büz, menfez, kasis ve köprü gibi tesisler kullanılmaktadır (Erdaş, 1997). Yollara inşa edilen sanat yapıları hidrolojik ve jeolojik fonksiyona sahip olarak tasarlanmaktadır. Ancak, yollarda kullanılan sanat yapılarının diğer bir fonksiyonu ise yaşam alanlarını bölen yol platformunun altında veya üzerinde yaban hayvanlarının yaşam alanları arasında geçit olarak kullanımıyla yol sanat yapılarının hidrolojik fonksiyonlarının yanında ekolojik fonksiyonları da ortaya çıkmaktadır. (Gülci, 2014; Gülci ve Akay, 2014; Gülci ve Akay, 2015).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İleri seviye teknolojik ürünlerin sivil amaçlı kullanımlarda kısıtlı olanakları ticari kullanıma sunulduğu kadarıyla oldukça çeşitli İHA ve termal algılayıcı kameralar, yer kontrol üniteleri gibi İHA sistemleri bilimsel araştırmalarda kuşkusuz fayda sağlamaktadır. Kanun ve yönetmeliklerle sivil amaçlarda kullanımı sınırlandırılmış veya tamamen yasaklanmış araç ve gereçlerden olan otonom kontrol üniteli İHA sistemleri ilerleyen yıllarda daha esnek sınırlamalarla sivil kullanıma sunulacaktır. Termal kamera ile desteklenmiş teknik ve mekanik desteği bulunan sivil amaçlı profesyonel uzaktan algılama çalışmalarında kullanım için yaklaşık 91.000 TL maliyetle İHS'ler elde edilebilmektedir. İHS'nin temin edilmesindeki maliyet hesabında günün şartlarına göre ekonomik göstergeler ve vergi oranlarının değişebileceği ayrıca ön görülmelidir.

Kısa vadeli olarak gerçekleştirilecek ekolojik sanat yapısı konumlandırma çalışmalarında zaman ve mekan olanaklarının etkin olarak değerlendirmede ideal bir araç olarak soğutmasız termal algılayıcı kameralı İHAS alternatif yöntemler arasında düşünülmelidir. Soğutmalı termal kameralar her ne kadar daha yüksek çözünürlükte kaliteli görüntü elde etse dahi mini İHA'lara monte edilecek ergonomik yapıya sahip değildir. Arazi çalışmalarında soğutmasız termal kamera yardımıyla elde edilecek görüntüler dijital ortamlara aktarılabilen ve uzmanlık gerektiren görüntü işleme teknikleri yardımıyla ayrıca değerlendirilebilmektedir. Söz konusu araştırma kapsamında kullanılan algılayıcı sistemler gerek açık

kaynak kodlu algoritmalar gerekse ticari olarak piyasaya arz edilmiş yazılımların kullanımıyla daha etkili değerlendirme gerçekleştirilmektedir. Termal kameralar yardımıyla görüntü alımı yapılan alanlarda ekolojik geçit noktalarının belirlenmesinde diğer bir araç olarak kullanım olanağı değerlendirilmektedir. Termal kameralar %90 kapalılığa sahip ormanlarda yaban hayvanlarının tespiti oldukça zordur ve sık kapalı ormanlık alanlarda yaşayan karasal memelilerin tespitinde kullanılmamalıdır. Çok rotorlu, multikopter tipi İHA platformu dışında diğer uçak tipi platform modellerde de termal kameralar kullanılmaktadır. Ancak havada sabitleme özelliği bulunmayan araçlar arama tarama (AT) işlemlerinde başarıyı azaltmaktadır. AT esnasında termal algılayıcılar tarafından yer kontrol ünitesinde tespit edilen yaban hayvanını/ hayvanlarını detaylı incelemek ve doğrulamak çok rotorlu İHA platformu ile daha kolay olacaktır. Bu nedenle, multikopter tipi yatay ve düşey hareket kabiliyetine sahip havada askıda kalabilen sistemler tercih edilmelidir. Gündüz uçuşlarında görünür renkleri algılayabilen fotoğraf makinesi ile termal çekim özelliğine sahip kameralar kombine edildiğinde daha olumlu sonuçları ortaya koyacak ancak İHA kullanımında maliyeti arttıracaktır.

Bu çalışmada, ülkemizde planlanması düşünülen ekolojik sanat yapılarının konularının belirlenmesinde etkin bir araç olarak İHS kullanım olanaklarına farklı bir bakış açısı katılmıştır. Yapım ve bakım maliyeti olarak oldukça yüklü miktarda finansal kaynak gerektiren bir çalışma olan yollara uygulanacak ekolojik sanat yapılarının fonksiyonel isteklere cevap verebilmesi açısından desteklenebilir bir çalışma olarak ortaya konulabileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, geceleri aktif olan yaban hayvanı türlerinin inşaa edilen ekolojik sanat yapılarını kullanım durumlarını izlemek ve takip etmek içinde oldukça önemli bir değer olduğu vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S., Öztürk, T., 2016. Usage opportunities of generating digital elevation model with unmanned aerial vehicles on forestry. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(1): 104-118, doi: 10.17099/jffiu.23976
- Beier, P., Majka, D., Newel, S., Garding, E., 2008. Best management practices for wildlife corridors. North Arizona University. pp. 1-14.
- Cilulko, J., Janiszewski, P., Bogdaszewski, M., Szczygielska, E., 2013. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research* 59: 17-23.
- Coffin, A.W., 2007. From road kill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396-406.
- Corsi, C., 2012. Infrared: A key technology for security systems. *Advances in Optical Technologies* Article ID 838752, 15 p, doi: 10.1155/2012/838752
- DFPL, 2014. Draganflyer X4-P Price List (Price List for 04.02.2015).
- Eker, M., Acar, H.H., Çoban, H.O., 2010. Orman yollarının potansiyel ekolojik etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* A(1):109-125.
- Eminoğlu, A., Tanrikulu, M. Y., Akın, T., 2008. Low-Cost 128 × 128 Uncooled infrared detector array in CMOS process. *Journal of Microelectromechanical Systems* 17(1): 20-30.
- Erdaş, O., 1997. Orman yolları – Cilt: II, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları No:187/25, Trabzon. s. 391.
- Franke, U., Goll, B., Hohmann, U., Heurich, M., 2012. Aerial ungulate surveys with a combination of infrared and high-resolution natural colour images. *Animal Biodiversity and Conservation* 35(2): 285-293.
- FLIR, 2015. <http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=42055>. (Ziyaret tarihi: 02.01.2015)
- FLIR, 2015a. <http://www.flir.com/cores/display/?id=54717>. (Ziyaret tarihi: 02.01.2015)

- Gülci, S., 2014. Orman içi ve kenarı yollarda ekolojik sanat yapıları üzerine araştırmalar. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tez Çalışması. 228 s.
- Gülci, S., Akay, A.E., 2014. Orman içi ve kenarı yollardaki sanat yapılarının ekolojik fonksiyonlar açısından değerlendirilmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu "Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir Toplum ve Çevre". 22-24 Ekim 2014 Isparta. s. 953-963.
- Gülci, S., Akay, A.E., 2015. Ecological infrastructures on road networks in and around forested areas. *European Journal of Forest Engineering* 1(1): 41-45.
- Hardin, P.J., Jensen, R.R., 2011. Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: challenges and opportunities. *GIScience and Remote Sensing* 48(1): 99-111.
- Haroldson, B.S., Wiggers, E.P., Beringer, J., Hansen, L. P., McAninch, J.B., 2003. Evaluation of aerial thermal imaging for detecting white-tailed deer in a deciduous forest environment. *Wildlife Society Bulletin* 31(4): 1188-1197.
- Israel, M., 2011. A UAV-based Roe deer fawn detection system. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland.
- Morelle, K., Bouché, F., Lehaire, P., Leeman, V., Lejeune, P., 2012. Game species monitoring using road-based distance sampling in association with thermal imagers: a covariate analysis. *Animal Biodiversity and Conservation* 35(2): 253-265.
- NASA, 2014. National Aeronautics and Space Administration https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/EM_Spectrum_Properties_edit_tr.svg. (Ziyaret tarihi: 06.07.2015)
- Oğurlu, İ., 2004. Ormancılıkta Yaban Hayatı. Süleyman Demirel Üniversitesi Ders Notu, Isparta. 63 s.
- Rogalski, A., 2003. Infrared detectors: status and trends. *Progress in Quantum Electronics* 27:59-210.
- Shahbazi, M., Théau, J., Ménard, P., 2014. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing* 51(4): 339-365, doi: 10.1080/15481603.2014.926650
- Simberloff, D.S., Farr, J.A., Cox, J., Mehiran, D.W., 1992. Consequences and costs of conservation corridors. *Conservation Biology* 1:63-71.
- Tokmanoğlu, T., 1987. Termal ışınlarla uzaktan algılama (Termografi). *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 37(B3): 1-22.
- Toy, M.F., Ferhanoglu, O., Torun, H., Urey, H., 2008. Uncooled infrared thermo-mechanical detector array: Design, fabrication and testing. *Sensors and Actuators A: Physical* 156:88-94, doi: 10.1016/j.sna.2009.02.010
- URL, 2014. <http://roswellflighttestcrew.typepad.com/blog/2014/03/posting-video-fpv-flir-thermal-camera-comparison-detection-range-and-flight-testing.html> (Ziyaret tarihi: 14.06.2015)
- Watts, A.C., Ambrosia, V.C., Hinkley, E.A., 2012. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing* 4: 1671-1692.
- Wiggers, E.P., Beckerman, S.F., 1993. Use of thermal infrared sensing to survey White-tailed deer populations. *Wildlife Society Bulletin* 21: 263-268.
- Wing, M.G., Burnett, S., Johnson, S., Akay, A.E., Sessions, J., 2014. A Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing Applications* 4(3): 113-120, doi:10.14355/ijrsa.2014.0403.01
- Zhao, Y., Mao, M., Horowitz, R., Majumdar, A., Varesi, J., Norton, P., Kitching, J., 2002. Optomechanical uncooled infrared imaging system: design, microfabrication, and performance. *Journal of Micro Electromechanical Systems* 11(2): 136-146.