

## HAVA LIDARLARDA MENZİL VE YANSITMA KATSAYISI PARAMETRELERİNİN LIDAR KESİT ALANI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Abdurrahman GÜNDAY<sup>1</sup>, Aydın BALABEY<sup>2</sup>  
Canberk UTAR<sup>3</sup>, Muhammed Mert YILMAZ<sup>4</sup>,  
Muhammed DEMİR<sup>5</sup>,  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Taylan SİPAHİ<sup>6</sup>  
Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Ankara  
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara

### ÖZET

*Bu çalışmada, LIDAR sistemleri üzerine genel bir inceleme yapılmış, hava LIDAR sistemlerinde ulaşabilecek en uzak ufuk noktası olan menzil ve hedef nesnenin, lazer ışınlarını ne ölçüde yansıttığını belirleyen yansıtma katsayısı parametrelerinin LIDAR kesit alanı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bu kapsamda, bir hedeften yansıyan ve LIDAR sistemi tarafından algılanan ışık gücünü veya enerji miktarını temsil eden kesit alanı, matematiksel bir yaklaşımla, menzilin 100 m – 250 m – 500 m -1000 m -2000 m – 2500 m – 5000 m değerleri ve yansıtma katsayısının % 10, % 20 ve % 30 değerleri için elde edilmiş ve bu ilişkiyi veren simülasyon Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu durumda, elde edilen verilerin değişimine bağlı olarak farklı senaryolar gözlemlenmiştir. Bu iki parametreye ek olarak, geriye doğru yansıma oranı ve yüzeylerin yansıtma özellikleri de hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Alan oranının 0,1, 0,2 ve 0,3 değerleri için yansıyan alan değerleri, sırasıyla,  $1 \times 10^{-9} \text{ rad}^2$ ,  $2 \times 10^{-9} \text{ rad}^2$  ve  $3 \times 10^{-9} \text{ rad}^2$  olarak elde edilmiştir. Ayrıca, alan oranının bu verilen değerleri ve menzilin 500 m, 1000 m ve 2000 m değerleri için kesit alanı değerleri, sırasıyla,  $1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  –  $4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ,  $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  –  $9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  ve  $12 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  –  $36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  aralığında lineer olarak değişmektedir. Bu çalışmada elde edilen simülasyon verileri ve sayısal sonuçlar, havacılıkta kullanılan LIDAR sistemlerinin koşullara uygun tasarımı için veri kaynağı olabileceği gibi, pratik çalışmalar için de menzil ve yansıtma katsayısı parametrelerinin kesit alanı üzerindeki etkileri hakkında yararlı bilgiler sağlayacaktır.*

### GİRİŞ

LIDAR (Light Detection and Ranging) sistemleri, diğer bir ifadeyle lazer altimetre sistemleri genel olarak ışık algılama ve mesafe ölçümü anlamına gelmektedir. Bu sistemler, yoğun ve odaklanmış ışınlar yayarak uzaktan algılama teknolojisine atıfta bulunmakta ve yansımaların sensör tarafından algılanması için gereken zamanı ölçmektedir. Bu bilgi, nesnelere olan mesafeleri hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında LIDAR, radyo dalgalarının kesikli darbelerine dayanan RADAR ile benzerlik göstermektedir. Ancak, LIDAR sisteminde, hedef nesnelere üç boyutlu koordinatları (enlem, boylam ve yükseklik), ilk olarak lazer darbesinin gönderilmesi ve geri dönmesi arasındaki zaman farkından, ikinci olarak darbenin ateşlendiği zamanı referans alarak ve son olarak da sensörün Dünya'nın yüzeyinde veya üzerindeki mutlak konumundan hesaplanmaktadır [Carter, Schmid, Waters, Betzhold, Hadley, Mataosky ve Halleran, 2012].

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl., E-posta: agunday@uludag.edu.tr

<sup>2,3,4,5</sup> Lisans Öğrencisi, Elektrik Elektronik Müh. Böl., E-posta: 032011117@ogr.uludag.edu.tr,  
032011035@ogr.uludag.edu.tr, 032011520@ogr.uludag.edu.tr, 032011582@ogr.uludag.edu.tr

<sup>6</sup>Dr. & Mühendislik Genel Müdür Yardımcısı, E-posta: taylan.sipahi@tai.com.tr, taylan.sipahi@aybu.edu.tr

LIDAR teknolojisi, farklı amaçlar için sıkça kullanılan bir teknolojidir. Gelişimi 1960'ların sonlarına dayanmakta olup, ilk ticari kullanımı 1993'te topografik harita üretimi amaçlıdır [Mantis, Zerefos, Baise, Ziomas ve Kelessis, 1986; Liadsky, 2007]. Özellikle 1996'dan sonra birçok şirket çeşitli amaçlarla LIDAR sistemleri üretmeye başlamıştır [Jiang, Ming, Zhang ve Zhang, 2005]. Bu teknoloji, hava, yer ve mobil platformlarda yaygın olarak kullanılan bir algılama ölçüm sistemini içermektedir.

Bir hava LIDAR sistemi, diğer bir ifadeyle topografik LIDAR, frekans spektrumunun kızılötesi bölgesinde çalışan bir lazer tarayıcı, GPS (Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi), IMU (Inertial Measurement Unit-Atalet Ölçüm Birimi) ve genellikle dijital kameradan oluşmaktadır. Lazer tarayıcı, yeryüzündeki objelerden yansıyan sinyalleri kullanarak mesafe ölçerken [Petzold, Reiss ve Stossel, 1999], GPS ve IMU sırasıyla, hava aracının konumunu belirlemekte ve hava aracının hareketini kaydetmektedir. GNSS (Global Navigation Satellite System-Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) alıcıları ise GPS verilerinin doğruluğunu artırmak için kullanılmaktadır [Grewal, 2011; Erena, Dominguez, Atenza ve Soria, 2020].

LIDAR verilerinin çözünürlüğünü ve sistemin performansını belirlemek için uzaydaki ayrık veri noktalarından yararlanılmaktadır. Uzaydaki ayrık veri noktaları kümesi, nokta bulutu olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, nokta bulutu, taranan yeryüzünün özelliklerini temsil eden üç boyutlu veriler olup, üç boyutlu bir şekli veya nesneyi temsil etmektedir. Her nokta konumunun kendine ait kartezyen koordinatları (x, y, z) bulunmaktadır. Nokta bulutunu kullanan modeller, hava LIDAR sistemi ile arazi yüzeylerinden elde edilen x, y, z değerlerini içeren nokta bulutunun sınıflandırılmasıyla oluşturulan sayısal modellerdir. Bu modellerin yanı sıra, lazer kaynağın ışın dalga boyuna bağlı olarak da LIDAR sistemlerini sınıflandırmak mümkündür. Dolayısıyla, dalga boyuna göre, bir LIDAR'ın yapısı ve çalışması değişim göstermektedir. Frekans spektrumunda mavi-yeşil bölgedeki lazerlerle su altı haritalama yapılırken, kızılötesi bölgede, karasal haritalama ve meteorolojik ölçümler gerçekleştirilmektedir [Erena, Dominguez, Atenza ve Soria, 2020].

Hava Lazer İzleme ve Algılama (LIDAR) sistemleri, uzaktan algılama alanında önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemler, atmosferden ve yeryüzünden yansıyan lazer ışınlarını kullanarak çevresel verileri toplamak için kullanılmaktadır. Hava LIDAR sistemlerinin etkinliğini ve performansını değerlendirmek için ise menzil ve yansıtma katsayısı gibi temel parametreler üzerinde detaylı bir inceleme ve analiz yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, hava LIDAR sistemlerinde menzil ve yansıtma katsayısı parametrelerinin LIDAR kesit alanı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öncelikli olarak menzil ve yansıtma katsayısının LIDAR kesit alanı üzerindeki etkileri, ardından da, farklı menzil ve yansıtma katsayıları için LIDAR kesit alanı değerleri hesaplanmış, bu kapsamda ilgili simülasyon ve parametrelere ilişkin nümerik sonuçlar elde edilmiştir.

## YÖNTEM

Kesit alanı, bir hedefin LIDAR sistemi tarafından algılanan güç veya enerji miktarını temsil etmektedir. Bu parametrelere ilişkin hesaplamalar, bir dizi dedektör kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yüksek yer örnekleme mesafesi (Ground Sampling Distance – GSD) kullanıldığında, her bir dedektör daha küçük bir alana odaklanmakta ve dolayısıyla daha küçük bir kesit alanını görmektedir. LIDAR sistemi doğrudan aşağı yönde algılama yapıyorsa, çapraz menzil çözünürlüğü, yer örnekleme mesafesi olarak adlandırılmaktadır.

Daha küçük kesit alanı tespiti, her bir dedektörün aldığı güç miktarının azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, artan yer örnekleme mesafesi, yani daha küçük kesitlerin görülmesi, dedektör başına sinyal gücünün azalmasına yol açabilmektedir. Bunun nedeni, her bir dedektör tarafından görülen kesitin daha küçük olması, diğer bir ifadeyle, her bir dedektöre daha az güç

yansımadır. Geriye doğru yansımada, yüzeylerin yansıtma özellikleri de kesit alanını etkileyen önemli bir faktördür. Dolayısıyla, yüksek yansıtma özelliğine sahip yüzeylerde daha fazla enerji geriye yansıdığı için bu durum daha yüksek kesit alanlarına yol açmaktadır [ArcMAP, 2019].

Hedefin aydınlatma alanı, dedektörün açısız alt geriliminden (Detector Angular Subtense) daha büyükse, bir alıcı pikselin gördüğü kesit alanı, pikselin izdüşüm alanı ile hedefin yansıtma katsayısının çarpımı ile orantılıdır. Bu durum, kesit alanının, dedektörlerin özelliklerine ve hedefin yansıtma özelliklerine bağlı olarak hesaplanmasını sağlamaktadır.

Kesit alanı ifadesi eşitlik (1) ile verilmektedir [McManamon, 2019].

$$\sigma = \rho_t \times A_p = \rho_t \times d^2 \quad (1)$$

Eşitlikte,  $\rho_t$  hedefin yansıtma katsayısına,  $A_p$  pikselin kesit alanına ve  $d$  hedef üzerinde bir pikselin izdüşüm alanının bir kenarının uzunluğuna veya piksel boyutuna karşılık gelmektedir.

Piksel boyutu ( $d$ ), ne kadar küçükse, izdüşüm alanı da orantısız olarak küçük olmaktadır. Dolayısıyla, bu durumda kesit alanı da azalmaktadır. Yüksek yansıtma katsayısına sahip yüzeyler ( $\rho_t$ ) kaynaktan gelen ışığı daha fazla yansıttığından böylelikle, daha yüksek bir kesit alanına sahip olmalarına neden olmaktadır. Daha yüksek kesit alanı, LIDAR sisteminin hedefi daha belirgin bir şekilde algılamasını sağlayan önemli bir faktördür. Bunun yanı sıra, piksel alanı kare şeklinde ise alan  $d^2$  olarak ifade edilir. Piksel alanı, hedefin LIDAR sistemi tarafından ne kadar genişlikte algılandığını gösteren bir parametredir. Daha büyük pikseller, daha düşük çözünürlüğe ve daha az detaya neden olduğundan, kesit alanının azalmasına yol açabilmektedir.

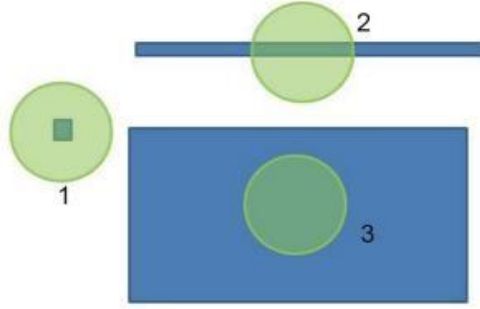
Algılayıcının gördüğü alan menzilin karesi olarak lineer bir değişim göstermektedir. Kesit alanı ( $\sigma$ ), zemin yansıtıcılığının ( $\rho_g$ ), dedektör açısız alt geriliminin (DAS - Detector Angular Subtense) ve menzilin ( $R$ ) fonksiyonu olarak (2)'de verildiği gibi ifade edilmektedir [McManamon, 2019].

$$\sigma = \rho_g \times DAS^2 \times R^2 \quad (2)$$

Eşitlik (2)'den açık bir biçimde görüldüğü üzere, kesit alanı, zemin yansıtıcılığı, dedektörün açısız alt gerilimi ve hedefin menzili ile lineer bir değişim göstermektedir. Burada, zemin yansıtıcılığı, yüzeyin ne kadar ışığı yansıttığını ifade etmektedir. DAS, dedektörün gördüğü alanı belirleyen bir parametredir. Menzil ( $R$ ) ise hedefin LIDAR sistemine olan mesafesini ifade etmektedir.

Eşitlik (2) esas alındığında, bir hedef, piksel boyutundan daha küçükse, LIDAR sistemi veya dedektör tarafından algılanan alan, hedefin gerçek boyutundan daha küçük olacaktır. Bu durumda, yansıtılan lazer ışığı daha küçük bir alana odaklanmakta ve böylelikle, kesit alanının daha küçük bir değer almasına neden olmaktadır. Diğer bir deyişle, hedefin fiziksel boyutu ile dedektörün algılayabildiği alan arasındaki orantısızlık, kesit alanının küçülmesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, hedefin fiziksel boyutu ile LIDAR sisteminin algılayabildiği alan arasındaki ilişki, kesit alanının belirlenmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir. Eğer hedef, piksel boyutundan daha küçükse, kesit alanı, algılayıcı tarafından algılanan alanın boyutuna bağlı olarak azalacaktır.

Şekil 1'de 3 farklı nokta hedefine ilişkin görsel verilmektedir [McManamon, 2019]. Şekil 1'deki (1) numaralı nokta hedefi, aydınlatma demetinden çok daha küçük bir alana sahiptir. Bu durumda, kesit sabit kalmaktadır, çünkü hedef, aydınlatma demetinin içinde tamamen yer almakta ve ışığın yoğunluğu üzerindeki etkisi en düşük seviyededir. Gösterimde verilen (2) numaralı çizgi hedefi, aydınlatma demetinden daha büyük bir alana sahiptir. Bu durumda, kesit, çizgi hedefi boyunca ve aydınlatma demetinin genişliğine göre değişmekle birlikte hedefin boyutuyla orantılıdır.



Şekil 1: 3 farklı nokta hedefinin gösterimi

Şekil 1'deki gösterimde verilen numaralı alan hedefi, her iki yönde de aydınlatma demetinden daha büyük bir alana sahiptir. Bu durumda, kesit, hedefin boyutundan bağımsız olarak aydınlatma demetinin boyutuna göre değişim gösterecektir. Diğer bir ifadeyle, hedefin boyutu arttıkça kesit alanı da artmakta, ancak, hedefin boyutu çok büyük olduğunda ise kesit, aydınlatma demetinin genişliği ve uzunluğu ile sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla, LIDAR sistemlerinde nokta, çizgi ve alan hedeflerinin aydınlatma demetiyle ilişkisi ve kesit alanlarının bu ilişkiye bağımlılığı açık bir biçimde görülmektedir.

Bir DAS içerisinde birden fazla mesafede saçıcılar varsa, yüksek menzil çözünürlüğü, etkili kesit alanını azaltabilmektedir. Ayrıca, belirli bir pikseldeki geri dönüş, birden fazla ayrı yüzeyden gelebilir. Yani, tek bir GSD içinde örneğin üç farklı mesafeden yansıma gerçekleştiğinde, belirli bir mesafede, pikselin tüm alanından yansıma alınmaz. Buna karşılık, yalnızca ölçülen menzildeki pikselin o kısmından yansıma alınmaktadır. Bu durum, farklı menzillerde bulunan üç eşit yansıma alanına bağlı olarak, kesit alanının ( $\sigma$ ) hesaplanmasını etkilemektedir. Diğer bir ifadeyle, kesit alanı, her bir yansıma alanının  $1/3$ 'üne eşdeğer olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, yüksek menzil çözünürlüğü altında, kesit alanı, (3)'te verildiği gibi formüle edilmektedir.

$$\sigma = \rho_t \times 0.33 \times DAS^2 \times R^2 \quad (3)$$

Eşitlik (3)'ten görüldüğü gibi, kesit alanı, her bir parametredeki artışa bağlı olarak artış göstermektedir.

## UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

LIDAR sistemlerinde menzil parametresi, LIDAR sensörünün nesnelere algılayabildiği mesafeyi göstermektedir. Menzil, uzak mesafelerdeki nesnelere yansıttığı lazer ışınları daha zayıf olduğundan, LIDAR'ın kesit alanı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu durum, kesit alanını ve dolayısıyla algılama yeteneğini etkilemektedir. Yansıma katsayısı parametresi, bir nesnenin lazer ışığını yansıma kabiliyetinin bir ölçütüdür ve yüzdesel olarak ifade edilmektedir. Yüksek yansıma katsayısına sahip nesnelere, lazer ışığını daha fazla yansıttığından daha güçlü bir sinyal üretebilirler. Bu durum da, LIDAR tarafından daha kolay algılanabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, daha yüksek yansıma katsayısı, daha geniş bir kesit alanı elde etme olasılığını artırmaktadır.

Alan oranı, LIDAR tarafından taranan alanın bir kısmının ne kadarını kapladığını göstermektedir. Yüksek alan oranına sahip nesnelere, LIDAR tarafından alanın daha büyük bir kısmını kaplamaktadır. Yansıyan alan, sensörden algılanan lazer ışığıyla aydınlatılan nesnenin alanını ifade etmektedir.

Tablo 1'de, 100 m – 250 m – 500 m – 1000 m – 2000 m – 2500 m – 5000 m menzil değerleri ve % 10, % 20 ve % 30 yansıma katsayıları için hesaplanmış olan alan oranı, yansıyan alan ve kesit alanı parametrelerine ilişkin değerler verilmektedir. Tablo 1'den de açık bir biçimde görüldüğü gibi,

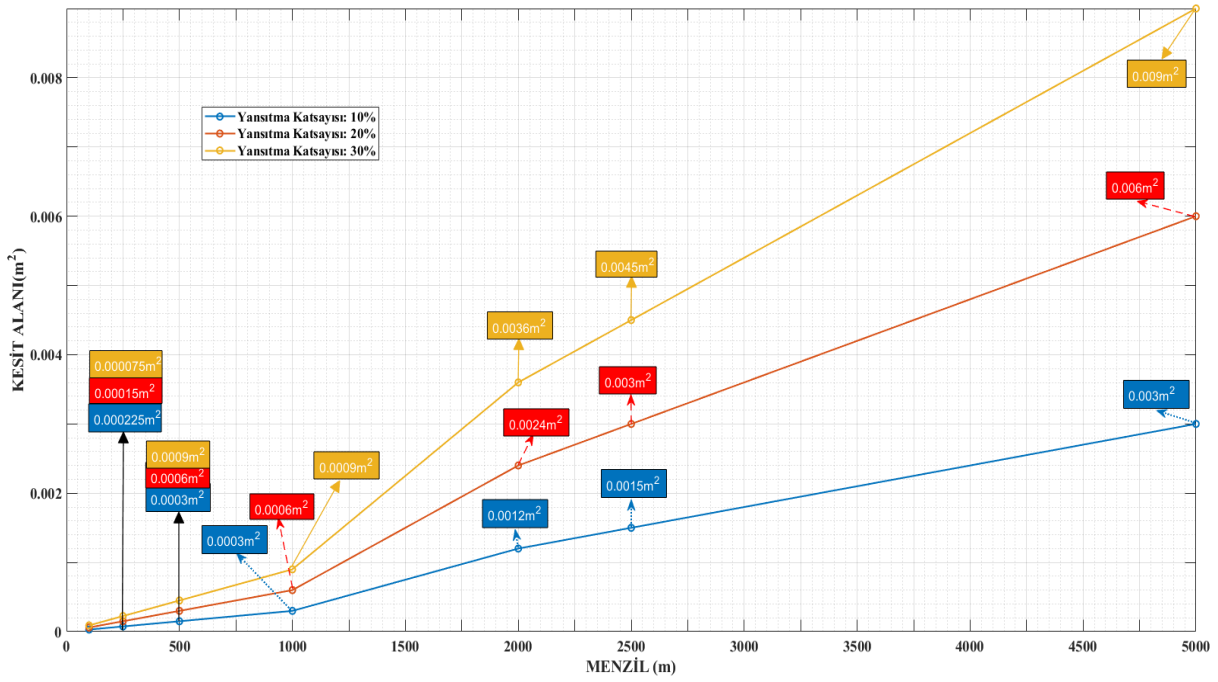
yansıtma katsayılarındaki değişime karşılık, yansıtma alan ve kesit alanı değerleri lineer olarak artış göstermektedir.

Tablo 1: LIDAR sensöründe menzil, yansıtma katsayısı, alan oranı, yansıyan alan ve karşılık gelen kesit alanı değerleri

Menzil (m)	Yansıtma Katsayısı (%)	Alan Oranı	Yansıyan Alan (rad <sup>2</sup> )	Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )
100	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-5}$
100	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$6 \times 10^{-5}$
100	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$9 \times 10^{-5}$
250	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$7,5 \times 10^{-5}$
250	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$15 \times 10^{-5}$
250	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$22,5 \times 10^{-5}$
500	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$1,5 \times 10^{-4}$
500	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-4}$
500	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$4,5 \times 10^{-4}$
1000	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-4}$
1000	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$6 \times 10^{-4}$
1000	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$9 \times 10^{-4}$
2000	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$12 \times 10^{-4}$
2000	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$24 \times 10^{-4}$
2000	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$36 \times 10^{-4}$
2500	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$15 \times 10^{-4}$
2500	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$30 \times 10^{-4}$
2500	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$45 \times 10^{-4}$
5000	10	0,1	$1 \times 10^{-9}$	$30 \times 10^{-4}$
5000	20	0,2	$2 \times 10^{-9}$	$60 \times 10^{-4}$
5000	30	0,3	$3 \times 10^{-9}$	$90 \times 10^{-4}$

Şekil 2’de, farklı yansıtma katsayıları ve menzil değerleri için kesit alanı değişimine ilişkin Matlab simülasyonu gösterilmektedir. Simülasyonda, % 10, % 20 ve % 30 yansıtma katsayıları ve 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 2000 m, 2500 m ve 5000 m menzil değerleri için kesit alanı değişimi gösterilmektedir. Simülasyondan görüldüğü gibi, kesit alanı değerleri, 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 2000 m, 2500 m ve 5000 m menzil değerlerinde yansıtma katsayısı değerleri ile lineer olarak değişmektedir.

Gösterimdeki farklı menzil bölgelerinde, kesit alanının menzil ile değişim oranındaki, diğer bir ifadeyle kesit alanı menzil bağımlılığındaki değişimin nedeni, menzilin kesit alanına etkisinin logaritmik olmasıdır. Buna karşılık, menzil arttıkça, kesit alanı değerleri artmaktadır. Ayrıca, yüksek kesit alanı değerine sahip nesnelere, LIDAR sensör tarafından daha kolay algılanabilmektedir. Dolayısıyla, yansıtma katsayısının % 30 değeri için kesit alanı maksimum değerleri aldığından, bu değerlerde daha yüksek doğrulukta ölçümler yapılabilmektedir.



Şekil 2: Farklı yansıtma katsayıları ve menzil değerleri için kesit alanı değişimi

## SONUÇ

Bu çalışmada, hava LIDAR sistemlerinde kesit alanının belirlenmesinde önemli olan menzil ve yansıtma katsayısı parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, Matlab ortamında gerçekleştirilen ve bu parametrelerin birbirleriyle ilişkilerini veren simülasyon türetilerek, parametrelerin değişimleri analiz edilmiştir. Simülasyon ve analizlere göre, menzil, yansıtma katsayısı, alan oranı ve yansıyan alan gibi faktörlerin kesit alanı üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada elde edilen çıkarımlar, menzilin artmasıyla kesit alanının arttığını ve yansıtma katsayısı, alan oranı ve yansıyan alanın artmasıyla da kesit alanının doğrudan arttığını göstermiştir. 100 m menzilde, yansıtma katsayısı % 10, alan oranı 0,1 ve yansıyan alan  $1 \times 10^{-9}$  rad<sup>2</sup> iken kesit alanı  $3 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Aynı menzil değeri için yansıtma katsayısı % 20'ye çıkarıldığında alan oranı 0,2 ve yansıyan alan  $2 \times 10^{-9}$  rad<sup>2</sup> olup, kesit alanı  $6 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, 250 m menzil değeri için yansıtma katsayısının % 30, alan oranının 0,3 ve yansıyan alanın  $3 \times 10^{-9}$  rad<sup>2</sup> değerlerine karşılık, kesit alanı  $22,5 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Ayrıca, 1000 m menzil değerinde, yansıtma katsayısı % 20, alan oranı 0,2 ve yansıyan alan  $2 \times 10^{-9}$  rad<sup>2</sup> olduğunda kesit alanı değeri,  $6 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>'ye ulaşmıştır. En uzak menzil değeri 5000 metrede ise yansıtma katsayısı % 30, alan oranı 0,3 ve yansıyan alan  $3 \times 10^{-9}$  rad<sup>2</sup> iken kesit alanı  $90 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bulguların, hava LIDAR sensörlerinin performansını değerlendirmede ve nesnelerin doğru bir şekilde algılanmasında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu parametrelerin analizi ve değerlendirilmesi, hem LIDAR teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde, hem de alanda gerçekleştirilecek araştırma ve akademik çalışmalarda fayda sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Carter, J., Schmid, K., Waters, K., Betzhold, L., Hadley, B., Mataosky, R., & Halleran, J. 2012. An introduction to LIDAR technology, data, and applications. NOAA Coastal Services Center, 2, p. 17.
- Erena, M., Domínguez, J. A., Atenza, J. F., & Soria, J. 2020. Bathymetry Time Series Using High Spatial Resolution Satellite Images. Water, 12(2), 531. <https://doi.org/10.3390/w12020531>.

- Grewal, M. S. 2011. Global navigation satellite systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3(4), 383-384.
- Jiang, J., Ming, Y., Zhang, Z., Zhang, J., 2005. Point-based 3D Surface Representation from LIDAR Point Clouds. The 4<sup>th</sup> ISPRS Workshop on Dynamic and Multidimensional GIS. September 6-8, 2005, Wales, UK, 1 – 4.
- Liadsky, J. 2007. Recent advancements in commercial LIDAR mapping and imaging systems. Informally published manuscript, Optech Incorporate, Available from NPS LIDAR Workshop.
- Mantis, H. T., Zerefos, C. S., Baise, A., Ziomas, I., & Kelessis, A. 1986. The northern hemisphere ozone minimum in 1982–1983. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 36(2), 135-145.
- McManamon, P. 2019. *LIDAR Technology and Systems*. SPIE Press, Bellingham, Washington. <http://spie.org>.
- Petzold, B., Reiss, P., and Stossel, W. 1999. Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing*, 54(2-3), 95-104. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00005-2).