

## Araçlar Arası (V2V) Haberleşmede Dağlık Anayollarda Yol Kaybı ve Gölgeleme Analizi

Zeynep HASIRCI TUĞCU<sup>1\*</sup>, Kenan KUZULUGİL<sup>2</sup>

### Öz

Araçlar arası (V2V) haberleşme, karayolu sürüş güvenliği ve kaza önleme açısından önemli bir teknoloji olarak görülmektedir. Ancak, araçlar arasına giren binalar, diğer araçlar ve ağaçlar gibi çevresel engeller V2V haberleşmeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, virajlı dağlık anayol ortamlarında, verici ve alıcı araçlar arasındaki iletişimi engelleyen dağlık alanların etkisi incelenmiş ve 5.9 GHz’de V2V ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen veriler, engel senaryolarında yaygın kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleriyle modellenmiş ve verilere uyum performansları açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dağ engeli bulunan senaryolarda çift eğimli yol kaybı modelinin daha iyi bir uyum sağladığını göstermektedir. Ayrıca, dağ engelini neden olduğu gölgeleme ve zayıflatma etkileri incelenmiş, dağ engeli kaynaklı ortalama zayıflamanın 19.6 dB olduğu tespit edilmiş ve literatüre ilk kez bu çalışma ile kazandırılmıştır. Bu bulgular, sistem tasarımcıları ve araştırmacılarına çevresel faktörlerin V2V iletişim performansına etkisinin detaylandırılmasında ve sistemlerin buna göre optimize edilip tasarlanmasında katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** V2V, Araçlar arası haberleşme, Gölgeleme, Zayıflatma, Yol kaybı, Dağ engeli.

## Path Loss and Shadowing Analysis in Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication on Mountainous Roads

### Abstract

Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication is recognized as a crucial technology in the context of road safety and accident prevention. However, environmental obstacles such as buildings, other vehicles, and trees can adversely affect V2V communication. This study investigates the impact of a mountainous obstacle between transmitter and receiver vehicles in curved highway environments, conducting V2V measurements at 5.9 GHz. The measured data is modeled using log-normal and dual-slope path loss models commonly used in obstacle scenarios, and their fitting performances are compared. The results indicate that the dual-slope path loss model provides a better fit in scenarios with mountainous obstacles. Additionally, the shadowing and attenuation effects caused by the mountain obstacle are examined, revealing an average attenuation of 19.6 dB attributed to the mountain obstacle, a contribution introduced for the first time in the literature through this study. These findings will contribute to system designers and researchers by detailing the impact of environmental factors on V2V communication performance and assisting in the optimization and design of systems accordingly.

**Keywords:** V2V, Vehicle-to-Vehicle communication, Shadowing, Attenuation, Path loss, Mountainous obstacle.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, [zhasirci@ktu.edu.tr](mailto:zhasirci@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, [kenankuzulugil@gumushane.edu.tr](mailto:kenankuzulugil@gumushane.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 24.02.2024

Kabul/Accepted: 15.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir bileşeni olan ve tahsis edilmiş kısa mesafeli haberleşme (DSRC) kullanarak gerçekleştirilen araçlar arası (V2V) haberleşmenin temel amaçlarından biri, trafikte oluşabilecek kazaların riskini azaltmak ve genel olarak karayolu güvenliğini artırmaktır. V2V'deki iletişim kapasitesi ise araçlar arası kurulacak olan bağlantı kalitesine bağlıdır. V2V haberleşmesinde, araçlar arasındaki bağlantının kalitesi, araçlardaki antenlerin alçak konumda olması nedeniyle trafikteki diğer araçlar, binalar, ağaçlar ve çeşitli engellerden etkilenmekte ve haberleşme bozulabilmektedir. Bu nedenle her türlü trafik ortamında ve farklı senaryolarda, araçlar arasına girecek engel farklılıklarının da gözetilerek V2V haberleşme kanalının gerçek ölçümlere dayalı analiz edilip modellenmesi gerekmektedir.

Literatürde V2V haberleşmesi için birçok mevcut performans analizi çalışması olup genellikle araç ve bina engeli gibi faktörlerden kaynaklanan gölgelemenin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla deneysel ölçümler alınmış, yol kaybı ve gölgeleme modellenmesi yapılmış ve özellikle araç engelinin sebep olduğu zayıflatmalar bulgu olarak sunulmuştur. V2V haberleşmesinde bina veya araç engeli kaynaklı etkilerin incelendiği çalışmalarda yayılım modelleri genellikle log-normal ve çift eğimli (*dual-slope*) yol kaybı modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu modellerde yol kaybı üssü ( $n$ ), referans mesafe ( $d_0$ ), referans mesafedeki yol kaybı ( $PL_{d0}$ ) ve gölgelemenin modellendiği Gaussian dağılımının standart sapması ( $\sigma$ ) parametreleri ölçüm verilerinden kestirilerek elde edilmiştir. Sonuçlar verilirken verici (Tx) ve alıcı (Rx) arasındaki direkt görüş hattı için LOS (*line of sight*), araya giren araçlardan dolayı engellenen hatlar için OLOS (*Obstructed LOS*) veya NLOSv (*LOS obstructed by vehicle*) ve bina gibi engellerden dolayı direkt görüş olmayan hatlar için ise NLOS (*non line of sight*) kısaltmaları kullanılmıştır.

Verici ve alıcı araç arasına başka araçların girmesi sonucu alınan sinyal gücünün değişim oranı farklı çalışmalarda farklı boyut ve tipteki araçlar için incelenmiştir. 10 metre mesafede haberleşen Tx ve Rx araç arasına giren bir başka aracın alınan sinyal gücünü yaklaşık 20 dB zayıflatığı ve daha uzak mesafelerde ise etkin haberleşme mesafesinin yarıya düştüğü ortaya konulmuştur (Meireles ve ark., 2010). Diğer bir çalışmada bir okul otobüsü Tx ve Rx araç arasına sabit olarak park edilmiş, Tx otobüsten 0.1 ve 50 m olmak üzere farklı iki uzaklıkta park edilirken Rx otobüsün diğer tarafında hareketli olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler çift eğimli yol kaybı modeli ile modellenmiş ve  $n_1$  parametresinin 1.9-2.18 arasında,  $n_2$  parametresinin 3.82-4.02 arasında,  $\sigma$  değerinin 2.86-3.5 dB arasında değiştiği tespit edilmiş, otobüs kaynaklı ilave zayıflama değeri ise yaklaşık 15-20 dB olarak hesaplanmıştır (He ve ark., 2014). Küçük ve büyük boyutlu bir aracın Tx ve Rx araçlar arasına girdiği ortamda yapılan ölçümlerde küçük aracın ortalama yol kaybını çok değiştirmedeği, en fazla 7 dB olmak üzere ortalama 3 dB zayıflatmaya sebep olduğu; büyük aracın

ise yaklaşık 10 dB ilave zayıflatmaya sebep olduğu bulunmuştur. Ayrıca log-normal yol kaybı modellenmesi yapılmış ve  $n=1.51$ ,  $PL_{d0}=58$  dB,  $\sigma=2.83$  dB olarak elde edilmiştir (Yang ve ark., 2018). Başka bir çalışmada ise anayol ortamında araya giren araçların ortalama 9.2 dB zayıflatmaya sebep olduğu ortaya konulmuştur (Boban ve ark., 2011). Kırsal ve anayol ortamlarda LOS ve OLOS (arada tır varken) durumlar için farklı anten konumlarına göre ölçümlerin yapıldığı çalışmada log-normal model parametreleri kırsal için  $n=1.65$ ,  $PL_{d0}=72.3$  dB,  $\sigma=3.9$  dB olarak, anayol için ise  $n=1.6$ ,  $PL_{d0}=72.6$  dB,  $\sigma=4.4$  dB olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Tx ve Rx arasına engel olarak giren tırın alınan gücü ortalama 12-13 dB zayıflattığı rapor edilmiştir (Vlastaras ve ark., 2014). Kent ve anayol ortamında yapılan ölçümlere dayalı bir gölgeleme sönümlenme modeli önerilen çalışmada, alınan sinyal gücünün araya giren araçlardan dolayı ortalama 10 dB zayıfladığı sonucuna varılmıştır. Veriler çift eğimli yol kaybı modeli ile modellenmiş ve yayılım parametreleri anayol ortamında LOS için  $n_1=1.66$ ,  $n_2=2.88$ ,  $PL_{d0}=66.1$  dB ve  $\sigma=3.95$  dB bulunurken OLOS için  $n_1$  değeri hesaplanamamış,  $n_2=3.18$ ,  $PL_{d0}=76.1$  dB ve  $\sigma=6.12$  dB olarak verilmiştir. Kent ortamı için ise bu değerler ise LOS durumunda  $n_1=1.81$ ,  $n_2=2.85$ ,  $PL_{d0}=63.9$  dB ve  $\sigma=4.15$  dB iken OLOS durumunda  $n_1=1.93$ ,  $n_2=2.74$ ,  $PL_{d0}=72.1$  dB ve  $\sigma=6.67$  dB olarak hesaplanmıştır (Abbas ve ark., 2015). Kent kavşağında yapılan bir diğer ölçüm çalışmasında Tx ve R-x araç arasına başka bir aracın girmesi ve Rx'e paralel giden bir otobüsten yansıyan ışının etkisinin analizi yapılmış ve sonuç olarak araya giren aracın yaklaşık 10 dB zayıflatmaya sebep olduğu ve otobüsten yansıyan güçlü ışının kanal kazancını yaklaşık 5 dB artırdığı gözlemlenmiştir (Shu ve ark., 2018). Üç farklı kent kavşağında birbiriyle kesişen yollarda yapılan ölçümlerde Tx ve Rx araç arasında binalar başta olmak üzere, park etmiş araçlar, trafik işaretleri, elektrik direkleri ve ağaçlar gibi engeller mevcutken elde edilen sonuçlar araya engel girmeyen kent ortamındaki ölçümlerle kıyaslanmıştır. Engelsiz kent ortamı ölçümünün  $n$  değeri log-normal modelleme ile 1.55 olarak bulunurken kavşaklar için kritik mesafenin önerilen bir metotla bulunduğu çift eğimli yol kaybı modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda üç kavşak için  $n_1$  değerleri sırasıyla 1.54, 1.56 ve 1.53 olarak,  $n_2$  değerleri ise 3.96, 5.34 ve 4.86 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca  $\sigma$  değeri ölçümlerin LOS kısmı için 3.64 dB, NLOS kısımları için ise 4.81 dB olarak bulunmuştur (Yang ve ark., 2023). Son olarak yapılan bir diğer çalışmada genellikle NLOS'un NLOSv'den 20 dB daha fazla yol kaybına sebep olduğu, bunun da yayalar ve arabalar gibi dinamik engellere kıyasla binalar veya bitki örtüsü gibi statik/çevresel engellerin alınan sinyal gücü üzerinde çok daha güçlü zayıflama etkisi gösterdiği bulgusu vurgulanmıştır (Giordani ve ark., 2019).

Yapılan mevcut çalışmalarda, genellikle Tx ve Rx araçlar arasına araç ve bina gibi engellerin girdiği farklı ortam ve senaryolarda ölçümler ve modellemeler gerçekleştirilmiş, virajlarda araya dağ eteğinin engel olarak girmesi durumu ise bildiğimiz kadarıyla hiç ele alınmamıştır. Bu çalışmada mevcut literatürde eksik kalan bu araştırmayı yapmak adına Gümüşhane-Erzincan anayolunda farklı viraj senaryolarında V2V ölçümleri gerçekleştirilmiş, ölçümlerden elde edilen veriler engel

senaryolarında yaygın kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri ile modellenmiş, modellerin uyum performansları değerlendirilerek yol kaybı ve gölgeleme model parametreleri ( $n$ ,  $d_0$ ,  $PL_{d0}$  ve  $\sigma$ ) elde edilmiştir. Ayrıca, virajlarda araya giren dağ engelinin alınan sinyal gücünü zayıflatma oranı da engelsiz bir anayol ölçümüyle kıyaslanarak gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ölçüm Düzenegi

Ölçümlerde verici ve alıcı için benzer fiziksel ölçülere sahip iki farklı binek araç kullanılmış ve her bir araçta Şekil 1’de verildiği gibi aynı ekipmanlarla ölçüm düzenegi kurulmuştur.



Şekil 1. Ölçüm düzenegi ve kullanılan ekipmanlar

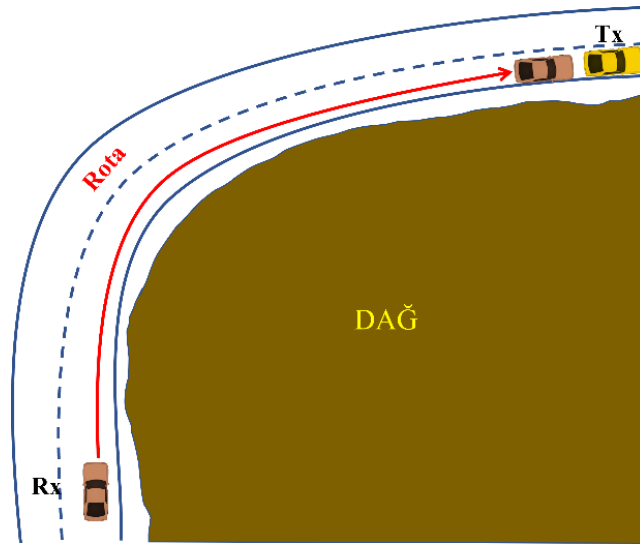
Teknik detayları Tablo 1’de verilen ölçüm düzeneginde, araçların 5.9 GHz’de V2V haberleşme standartlarına uygun olarak birbirleriyle haberleşmesi için Cohda Wireless firmasının MK5 OBU (Cohda Wireless, 2018) cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlara gerekli komutların gönderilebilmesi için laptoplar kullanılmış, ölçüm verilerinin detaylı analizine yardımcı olması için ise ölçümler araç içi kameralarla kaydedilmiştir. Laptopları beslemek için 12V/220V eviriciler kullanılırken, diğer ekipmanların çakmaktan beslenebilmesi için çakmak çoklayıcılar kullanılmıştır. Araçların tavanına yerleştirilen (tabanı mıknatıslı) antenler iki adet 5.9 GHz çok yönlü (*omnidirectional*) DSRC anteni ve bir adet GNSS anteni içermektedir.

Tablo 1. Ölçüm düzenegi teknik detayları

Özellik	Değer
Taşıyıcı frekansı	5.9 GHz
Bant genişliği	10 MHz
Araç hızları	~50 km/h
Verici gücü	+22 dBm
Alıcı hassasiyeti	3 Mbps’de -99 dBm
Tx, Rx anten kazancı	3 dB
Konumlandırma	GNSS, 2.5 m doğruluk

## 2.2. Ölçüm Senaryoları

Ölçümler Gümüşhane-Erzincan anayolunun arada dağ engeli bulunan dört farklı konumundaki virajlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Tx aracı sabit olarak konumlandırılırken, Rx aracı Şekil 2’deki virajlı anayol senaryosunda gösterildiği gibi Tx aracına doğru hareket etmiş ve tüm ölçümler yolun trafik açısından az yoğunlukta olduğu zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ölçümlerde araçlar arasındaki tek engel dağ engeli olmuştur. Tx aracının sabit konumu ve Rx aracının başlangıç konumu ile her bir senaryodaki Tx-Rx maksimum ölçüm mesafeleri Tablo 2’de verilmiştir.

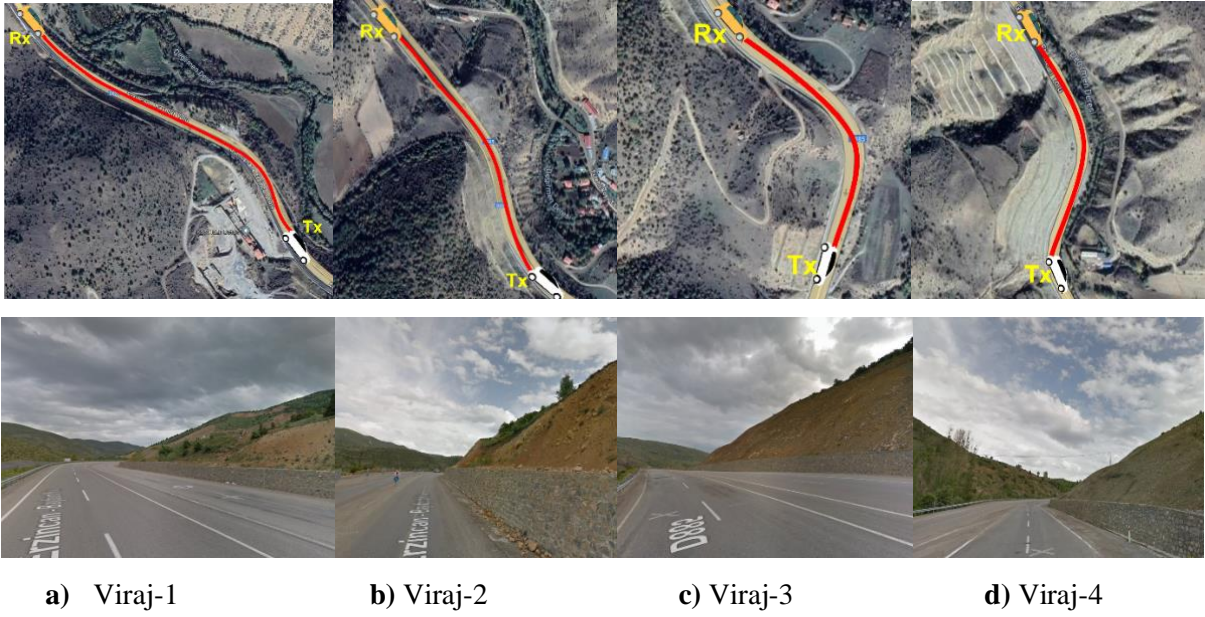


Şekil 2. Viraj senaryolarının gösterimi

Tablo 2. Ölçüm senaryoları ve konumları

Senaryo	Enlem – Boylam (Tx – Rx)	Tx-Rx mesafesi
Viraj-1	40.088251, 39.476169 – 40.092706, 39.469367	727 m
Viraj-2	40.073972, 39.495057 – 40.074102, 39.494906	464 m
Viraj-3	40.071010, 39.496496 – 40.073964, 39.495065	349 m
Viraj-4	40.060707, 39.497941 – 40.065022, 39.497646	478 m

Şekil 3’te ölçümlerin yapıldığı ortamların uydu ve sokak görüntüleri, Tx-Rx araçlarının konumları ve Rx aracının izlediği rota (kırmızı çizgi) gösterilmiştir.



Şekil 3. Ölçüm ortamlarının uydu ve sokak görünümü

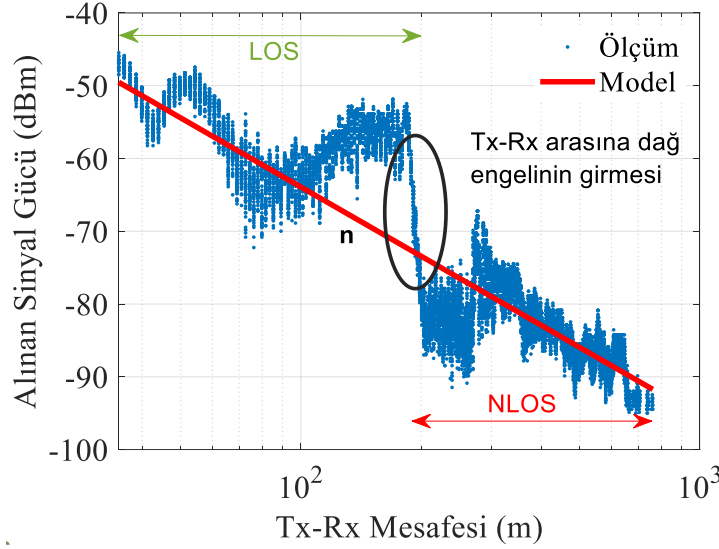
### 2.3. Yol Kaybı ve Gölgeleme Modelleme

Yol kaybı, vericiden iletilen güç ile alıcıda alınan güç arasındaki dB cinsinden sinyal zayıflaması olarak tanımlanmakta (Rappaport T.S., 2002) ve V2V haberleşme ölçümlerinin gerçekleştirildiği ortama ve ölçüm senaryolarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle literatürde her bir ortam ve farklı senaryolar için çeşitli modeller önerilmektedir. Bu çalışmada, V2V haberleşmedeki yaygın yol kaybı modellerinden log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri kullanılmıştır.

Log-normal yol kaybı modelinde, (1)' de verildiği gibi yol kaybını modellemek için log-mesafe güç yasası kullanılır ve alınan ortalama sinyal gücü değeri Tx ve Rx arasındaki mesafenin üstel değişimiyle ifade edilir (Abbas ve ark., 2015; Turner ve ark., 2019).

$$PL(d) = PL_{d_0} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

Burada  $d$ , Tx ve Rx arasındaki mesafeyi (m),  $n$  lineer regresyon ile kestirilen yol kaybı üssünü,  $PL_{d_0}$  ve  $PL(d)$  sırasıyla Tx ile Rx arasındaki  $d_0$  referans mesafesindeki ve  $d$  mesafesindeki dB cinsinden yol kaybını gösterir.  $X_\sigma$  ise sıfır ortamlı ve  $\sigma$  standart sapmalı Gaussian dağılımının raslantı değişkenini temsil eden gölgeleme sönümlenme bileşenidir. Şekil 4'te örnek bir ölçüm verisindeki mesafeye göreye alınan sinyal gücü değerleri ve bu veri için gerçekleştirilen log-normal yol kaybı modellemesi görülmektedir. Bu modellemede Tx ve Rx araç arasında dağ engeli olmayan durumdan dağ engeli olan duruma geçiş yani LOS örüntüsünden NLOS örüntüsüne geçiş verisi ayrıştırılmadan bir bütün olarak modellenmektedir.

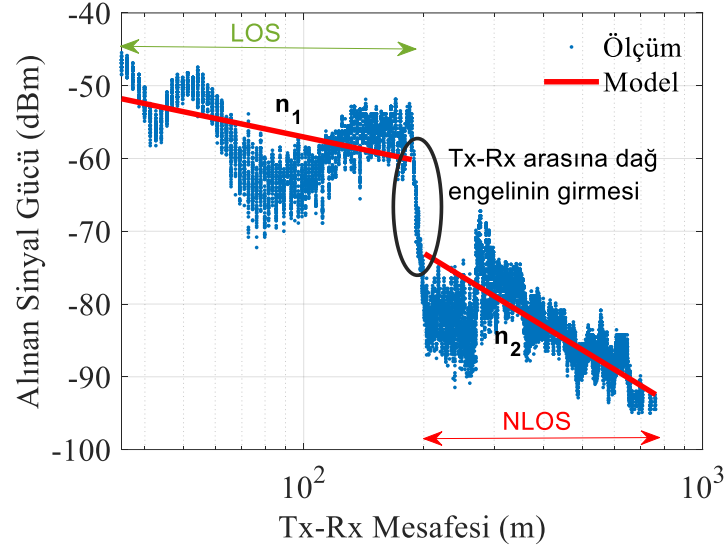


Şekil 4. Örnek bir verinin log-normal yol kaybı modellemesi

Log-normal model tek eğimli bir model olup  $n$  aslında yol kaybı modelinin eğimini göstermektedir. Çift eğimli yol kaybı modelinde ise belirli bir mesafeye kadar benzer örüntü gösteren veri kümesi bir yol kaybı üssü ( $n_1$ ) değeriyle modellenirken, bu mesafeden sonra farklı bir örüntüye sahip geri kalan veri kümesi başka bir yol kaybı üssü ( $n_2$ ) değeri ile modellenir. Çift eğimli yol kaybı modeli (2)'deki gibi olup (Goldsmith, 2005), verinin hangi mesafeden sonra farklı bir yol kaybı üssüne sahip olacağı kritik mesafeye dayalı olarak belirlenmektedir.

$$PL(d) = \begin{cases} PL_{d_0} + 10n_1 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma & d_0 \leq d \leq d_c \\ PL_{d_0} + 10n_1 \log\left(\frac{d_c}{d_0}\right) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_c}\right) + X_\sigma & d > d_c \end{cases} \quad (2)$$

Burada  $n_1$  ve  $n_2$  sırasıyla birinci ve ikinci yol kaybı üssü değerlerini gösterirken  $d_c$  ise kritik mesafeyi belirtmektedir. (2)'deki  $d_c$  değeri teorik olarak hesaplanabildiği gibi ölçüm verilerinin örüntüsündeki kırılma ve değişikliklere göre en uygun kritik mesafe değerinin seçilmesi şeklinde de olabilmektedir (Cheng, B. E. Henty, ve ark., 2007a; Cheng ve ark., 2008). Bu çalışmada  $d_c$  kritik mesafe değerleri teorik olarak değil ölçümlerdeki araç içi kamera kayıtları ve verinin mesafeye göre değişim örüntüsündeki kırılmaları incelenerek belirlenmiştir. Şekil 5'te, Tx ve Rx araç arasına dağ engelinin girdiği örnek bir ölçüm verilmiştir. Burada dağ engeli öncesi Tx ve Rx araçlar arasında direkt görüş varken (LOS), dağ engeli girdiğinde direkt görüşün kaybolduğu (NLOS) ve sinyalin büyük ölçüde zayıfladığı görülmektedir. Bu nedenle veride LOS örüntüsünden NLOS örüntüsüne geçişte dağ engeli kaynaklı oluşan kırılma mesafesi bu çalışmada kritik mesafe olarak alınmış ve çift eğimli yol kaybı modellemesi yapılmıştır.



Şekil 5. Örnek bir verinin çift eğimli yol kaybı modellemesi

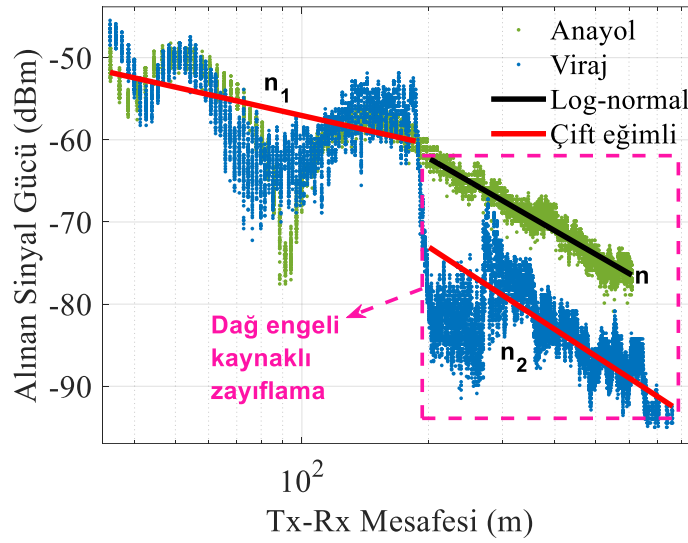
Hücreli iletişimde olduğu gibi, V2V yayılım modelleme çalışmalarında alınan sinyal gücünün ortamdaki zayıflama hızını belirleyen en önemli parametrelerden biri  $n$  parametresidir. Bu parametre dış ortam hücreli haberleşmede genellikle 2 ile 6 arasında değişir ve  $n=2$  ise serbest uzaydaki değeridir. Ancak V2V ölçüm çalışmalarında  $n$  yol kaybı üssünün hücreli haberleşmedeki değerlerin aksine 2'nin altında veya 6'nın üzerinde bulunabildiği görülmüştür (Ibdah ve Ding, 2017; Kuzulugil ve ark., 2023). Bu nedenle farklı ortamlarda ve senaryolarda V2V ölçümleri yapılarak  $n$  parametresinin kestiriminin doğru bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Ortama ve ölçümün doğasına en uygun  $n$  kestirimi yapılırken ise  $d_0$  ve  $PL_{d_0}$ 'ın seçimi oldukça önemlidir (Kuzulugil ve ark., 2020). Önceki çalışmalarda  $d_0$  değeri ölçüm ortamından bağımsız tipik olarak 1 m ile 100 m arasında sabit değerler olarak alınmıştır (Cheng ve ark., 2007; Karedal ve ark., 2011; Abbas ve ark., 2015; Kihei ve ark., 2015; Joo ve ark., 2018). Ancak  $d_0$  değerinin ölçümden bağımsız sabit bir değer olarak seçilmesinin en iyi  $n$  parametresinin bulunmasında kısıtlayıcı bir durum olduğu tespit edilmiş ve her bir ölçüm senaryosu için en uygun  $d_0$  ve  $PL_{d_0}$  değerlerinin seçilmesine yönelik bir yöntem önerilmiş ve ardından en uygun  $n$  değeri hesaplanmıştır (Kuzulugil ve ark., 2020). Bu nedenle bu çalışmada da bu önerilen metot kullanılarak yol kaybı parametreleri daha doğru bir şekilde elde edilmiştir.

Gölgeleme modellemesi yapılırken ise ölçüm verisinin mesafeye bağlı ortalaması alınmış ve ortalaması alınan sinyal ham ölçüm verisinden çıkarılmıştır. Ardından geri kalan veri çokyolluluk etkisi ihmal edilerek gölgeleme bileşeni olarak değerlendirilmiş, sıfır ortalamalı Gaussian dağılımı ile modellenerek (Cheng, B. Henty, ve ark., 2007; Fernández ve ark., 2013; Onubogu ve ark., 2014; Kihei ve ark., 2015) standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri elde edilmiştir.



## 2.4. Zayıflama

V2V haberleşme kanalının modelleme doğruluğu ve etkinliği çeşitli çevresel faktörlere bağlıdır. Bunların en önemlilerinden biri Tx ve Rx araç arasında başka araç, bina, ağaç gibi engellerin radyo sinyalleri üzerindeki göz ardı edilemeyecek gölgeleme ve zayıflatma etkisidir. Literatürde araç, bina ve kısmen ağaç gibi engellerin bu etkilerine yer verilmiş olsa da özellikle anayollarda araya giren dağ engelini etkisi daha önce incelenmemiştir. Bu nedenle farklı V2V senaryolarında dağ engeline dayalı ortalama zayıflamanın belirlenmesi bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biridir.



Şekil 6. Dağ engeli kaynaklı zayıflama (yeşil nokta: Anayol, mavi nokta: Viraj)

Bu çalışmada öncelikle arada dağ engeli olan virajlı yollarda ve dağ engeli olmayan bir anayolda deneysel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler log-normal (anayol için) ve çift eğimli (viraj için) yol kaybı modelleriyle modellenmiştir. Ardından Tx-Rx arasında dağ engeli olmayan bir anayol ile araya dağ engelini girdiği virajlı yollar Şekil 6'daki gibi kıyaslanmıştır. Şekildeki viraj ölçümünün dağ engeli girdikten sonraki NLOS kısmından dağ engeli olmayan anayol ölçümünün aynı mesafelerdeki kısmı çıkarılarak elde edilen verinin ortalaması alınmış ve böylece dağ engeli kaynaklı ortalama zayıflama hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada virajlı anayollarda verici ve alıcı araç arasına giren dağ engelini V2V haberleşmesine etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak Gümüşhane ilinde dağ eteklerindeki virajlı 4 farklı anayol ortamında 5.9 GHz'de V2V kanal ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan arada dağlık arazi engelini olmadığı anayol ortamı için de kanal ölçümleri alınmış ve dağ engelini

etkisini belirlemede referans ölçüm olarak kullanılmıştır. Ardından literatürde özellikle Tx-Rx arasında çeşitli engellerin bulunduğu senaryolarda yaygın olarak tercih edilen log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri kullanılarak yayılım modellemesi yapılmıştır. Her bir V2V ortamında elde edilen yol kaybı ve gölgeleme parametreleri ( $n$ ,  $d_0$ ,  $PL_{d0}$ ,  $\sigma$ ) ile modelleme başarımları ise log-normal model için Tablo 3'te, çift eğimli model için Tablo 4'te sunulmuştur. Modelleme başarımları, model ile ölçüm verisi arasındaki RMSE (kök ortalama kare hatası) değeri ile verilmiştir. Yol kaybı parametrelerini elde etmek için ise (Kuzulugil ve ark., 2020)'deki optimum referans mesafe seçimine dayalı en iyi  $n$  kestirimi için önerilen metot kullanılmıştır.

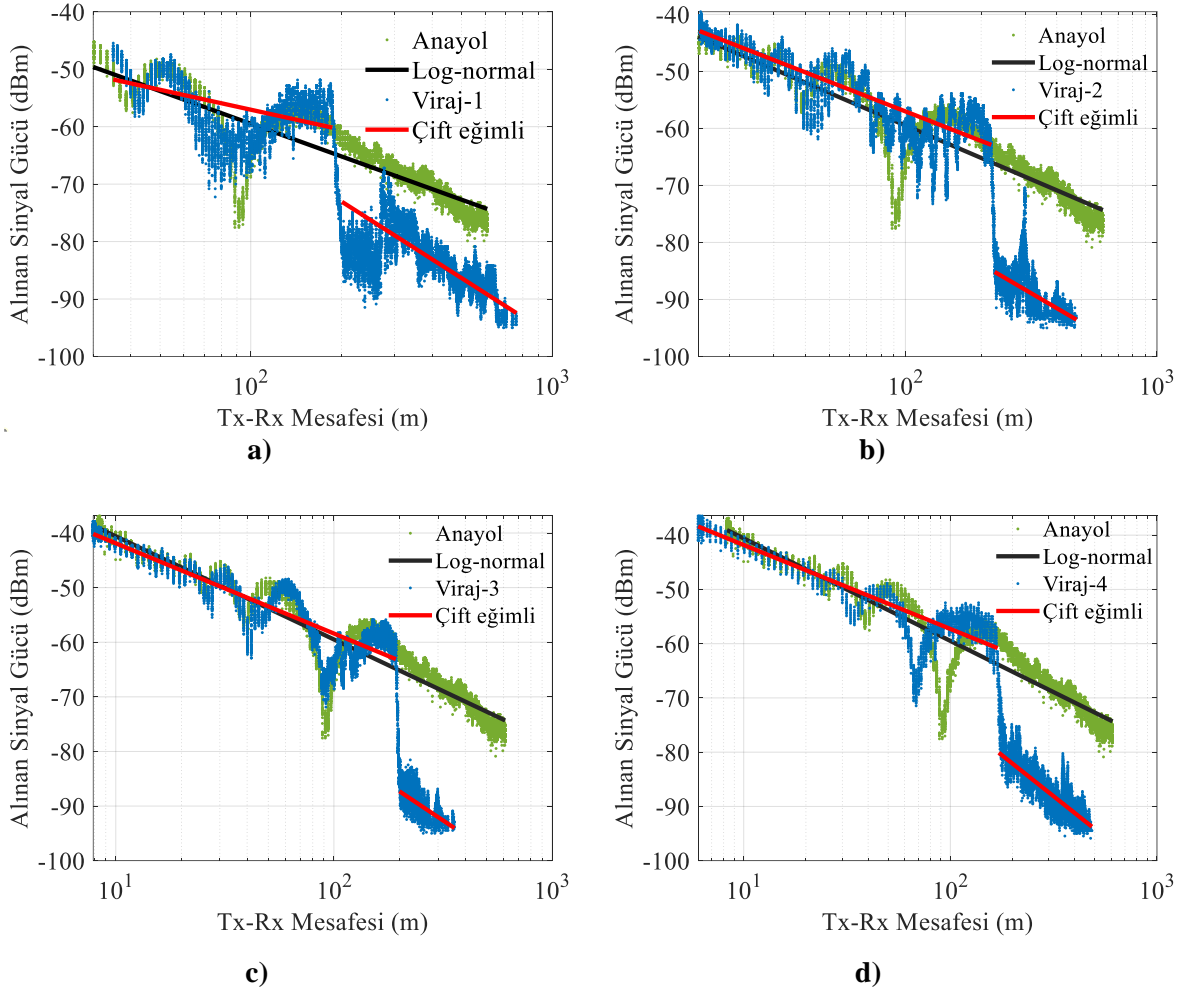
**Tablo 3.** Log-normal yol kaybı modeli için elde edilen parametre değerleri

Senaryolar	LOS + NLOS				
	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası
	$n$	$d_0$ (m)	$PL_{d0}$ (dB)	$\sigma$ (dB)	RMSE (dB)
Anayol	1.89	10.49	66.98	0.91	3.06
Viraj-1	3.15	99.02	89.79	2.17	5.28
Viraj-2	3.27	19.20	69.88	1.70	8.23
Viraj-3	3.31	16.30	71.01	1.26	8.37
Viraj-4	3.14	15.09	70.66	1.32	6.02

**Tablo 4.** Çift eğimli yol kaybı modeli için elde edilen parametre değerleri

Senaryolar	LOS (dağ engeli yokken)					NLOS (dağ engeli varken)				
	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası
	$n_1$	$d_{01}$ (m)	$PL_{d01}$ (dB)	$\sigma_1$ (dB)	RMSE (dB)	$n_2$	$d_{02}$ (m)	$PL_{d02}$ (dB)	$\sigma_2$ (dB)	RMSE (dB)
Viraj-1	1.15	39.93	78.46	2.37	4.24	3.34	281.76	104	1.76	3.3
Viraj-2	1.72	16.05	69.34	1.66	3.37	2.58	270.67	113.17	1.78	2.6
Viraj-3	1.65	9.36	67.41	1.11	3.27	2.67	211.97	113.99	1.50	1.16
Viraj-4	1.55	6.88	65.3	1.21	3.16	3.02	424.33	117.99	1.46	1.75

Her bir ortam için yapılan modellemelerde, uyum başarımının ölçütü olan ortalama model hatası log-normal model için yaklaşık 7.1 dB bulunurken, çift eğimli modelin LOS kısmı için 3.51 dB, NLOS kısmı için 2.2 dB olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar daha düşük RMSE değerlerine sahip olan çift eğimli yol kaybı modelinin dağ engeli bulunan verileri temsil etmede, log-normal modelin ise dağ engeli bulunmayan anayol verilerini temsil etmede daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, dağ engelini etkisini belirlemede referans olarak kullanılan anayol ölçümü ve log-normal dağılım modeli ile dağlık arazi engeli bulunan virajlı anayol ölçümleri ve her birinin çift eğimli yol kaybı modelleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7'deki gibi verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere arada dağ engeli bulunan virajlı anayollarda çift eğimli yol kaybı modeli oldukça uygun bir temsiliyet sağlamaktadır.



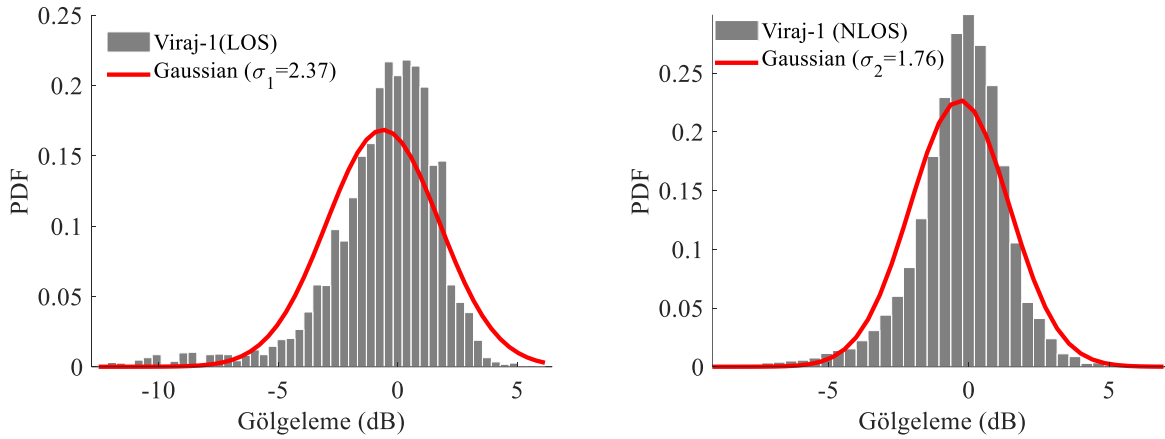
**Şekil 7.** Yol kaybı modellerinin karşılaştırmalı gösterimi (yeşil nokta: Anayol, mavi nokta: Viraj).  
**a)** Viraj-1 senaryosu, **b)** Viraj-2 senaryosu, **c)** Viraj-3 senaryosu, **d)** Viraj-4 senaryosu

Literatürde (Vlastaras ve ark., 2014; Yang ve ark., 2018, 2023) arada araç veya bina engeli bulunan ortamlarda log-normal yol kaybı modelini, (He ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2015; Yang ve ark., 2023) ise çift eğimli yol kaybı modelini kullanarak yol kaybı ve gölgeleme parametrelerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada ise arada dağ engeli bulunan senaryolar için bu iki model başarımları karşılaştırılıp yol kaybı ve gölgeleme parametreleri ilk kez elde edilmiş ve çift eğimli modellemenin dağ engeli olan senaryolarda daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

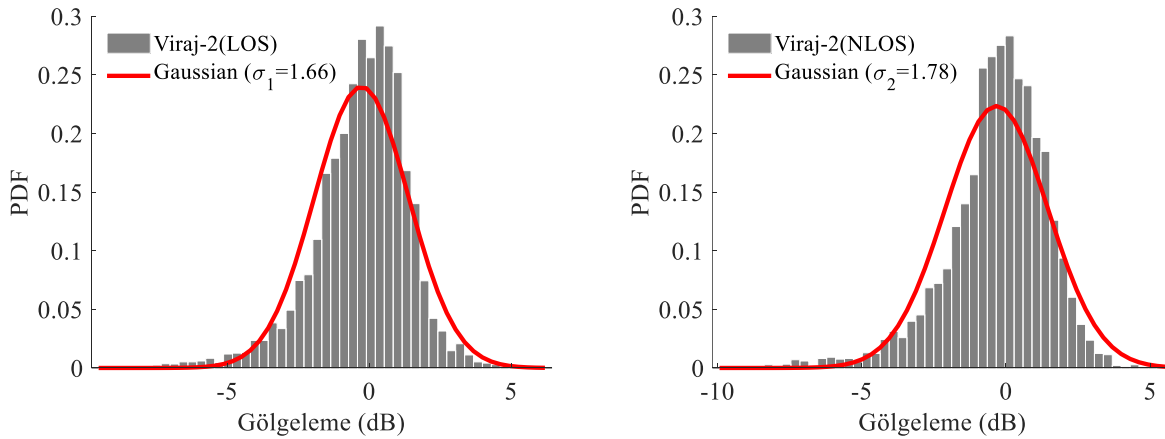
Tablo 3 ve Tablo 4'teki sonuçlar incelendiğinde dağlık arazi engelinin olmadığı anayol ortamı log-normal model ile modellenmiş ve  $n$  değeri 1.89 olarak elde edilmiştir. Dağ engelinin olduğu virajlı farklı anayol ortamlarında ise daha iyi başarımlar gösterdiği için çift eğimli yol kaybı modeli kullanılmış ve  $n_1$  değerleri 1.15-1.72 arasında,  $n_2$  değerleri ise 2.58-3.34 arasında elde edilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken  $d_c$  kritik mesafeleri viraj-1, viraj-2, viraj-3 ve viraj-4 ölçümleri için sırasıyla 190 m, 225 m, 195 ve 170 m olarak alınmıştır. Mevcut literatürde Tx ve Rx arasında araç ve bina gibi engellerin bulunduğu ortamlar için bazı ölçüm ve modelleme sonuçları mevcutken, virajlı yollarda araya dağlık arazi engeli giren ortamlar için yapılan çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu

çalışmanın özgün katkısı V2V kanalında dağlık arazi engelini etkisinin saptanması ve bu ortamlar için yol kaybı modellerinin yapılmasıdır. Öte yandan Tx ve Rx arasında araç veya bina engelini bulunduğu ortamlardaki  $n_1$  değerlerini 1.53 ile 2.18 arasında bulurken  $n_2$  değerlerini 2.74 ile 5.34 arasında elde etmişlerdir (He ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2015; Yang ve ark., 2023). Sonuçlar irdelendiğinde literatürdeki araç ve bina engelleri için sırasıyla yaklaşık 1.78 ve 3.6 bulunan ortalama  $n_1$  ve  $n_2$  değerleri, dağlık arazi engeli bulunan ortamlar için sırasıyla yaklaşık 1.52 ve 2.91 olarak elde edilmiş ve bu çalışma sonucunda literatüre kazandırılmıştır.

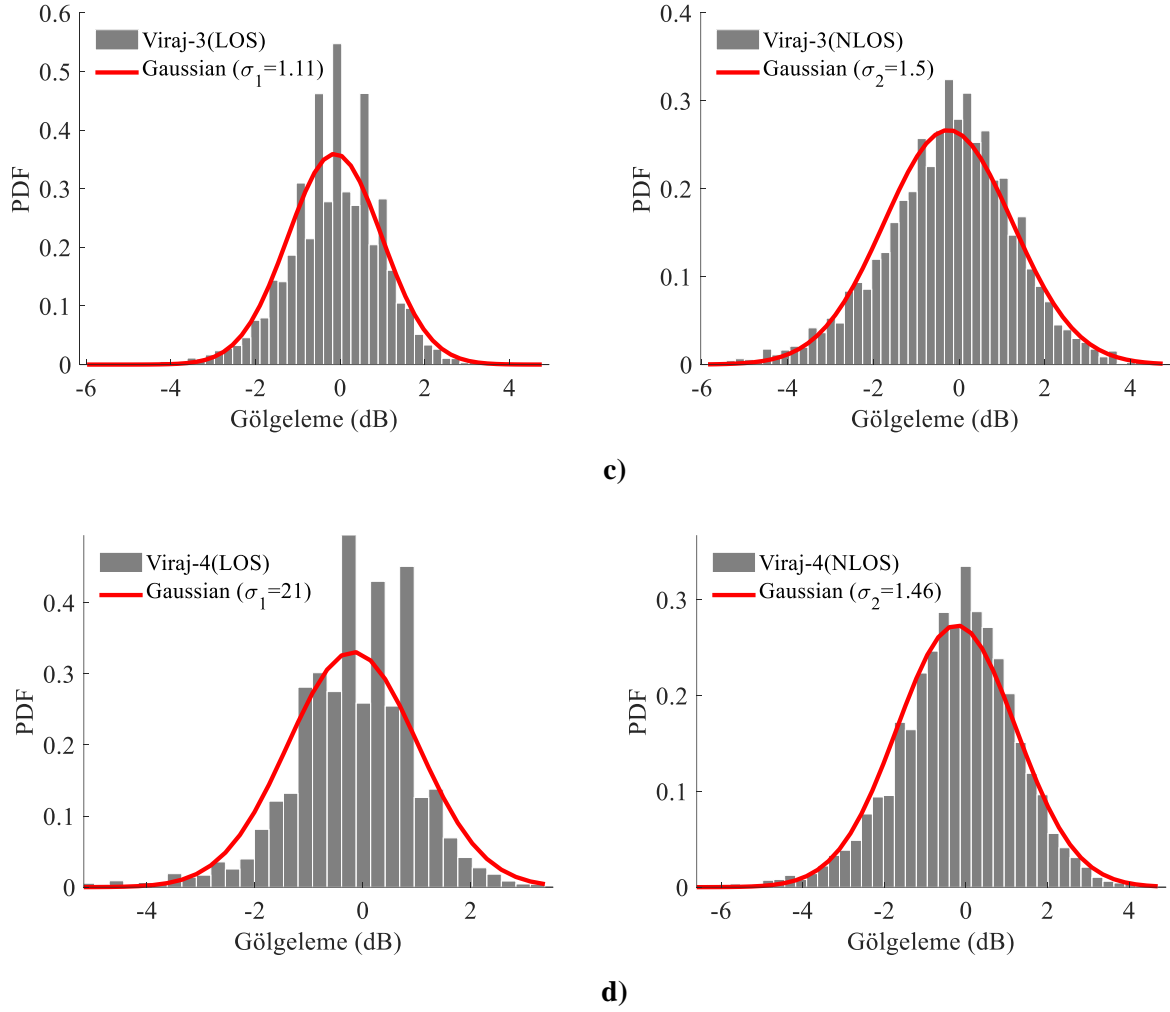
Yol kaybı modelindeki  $X_\sigma$ , gölgeleme etkilerini tanımlayan log-normal dağılımlı rastgele bir değişken olup standart sapması  $\sigma$  olan sıfır ortalamalı bir Gaussian dağılımı olarak modellenmektedir. Bu çalışma kapsamında dağ engeli içeren her bir senaryo için gölgeleme modellemesi yapılmış ve gölgeleme verilerine karşılık gelen en uygun Gaussian modeli Şekil 8'deki gibi sunulmuştur. Niceliksel sonuçlar ise veriye en uygun Gaussian dağılımının standart sapmaları ( $\sigma$ ) olarak hem Şekil 8'de hem de Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Standart sapma değerlerinin Tx-Rx arasında dağ engeli bulunan (NLOS) anayol ortamlarında ortalama  $\sigma_2=1.63$  dB, engel olmayan ortamlar (LOS) için ise yaklaşık ortalama  $\sigma_1=1.59$  dB düzeylerinde elde edilmiştir.



a)



b)



**Şekil 8.** Gölgeleme modelleri (PDF: olasılık yoğunluk fonksiyonu)  
**a)** Viraj-1 senaryosu, **b)** Viraj-2 senaryosu, **c)** Viraj-3 senaryosu, **d)** Viraj-4 senaryosu

Son olarak ise yine bu çalışma kapsamında V2V haberleşmesinde dağ engelini sebep olduğu zayıflama etkisi hesaplanmış ve Tablo 5’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tx-Rx arasında dağ engeli olan senaryolardaki zayıflama değerleri 12.5-24.5 dB arasında elde edilmiş olup, dağ engeli bulunmayan ortama göre ortalama zayıflamanın 19.6 dB daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 5.** Dağ engeli zayıflama etkisi

Senaryolar	Ortalama Zayıflama
Viraj-1	12.66 dB
Viraj-2	20.78 dB
Viraj-3	24.66 dB
Viraj-4	20.26 dB

Literatürde araç veya bina engellerinin neden olduğu ortalama zayıflama değerlerini ise yaklaşık 9 dB (Boban ve ark., 2011), 10 dB (Abbas ve ark., 2015; Shu ve ark., 2018; Yang ve ark., 2018), 12-13 dB (Vlastaras ve ark., 2014) ve 20 dB (Meireles ve ark., 2010; He ve ark., 2014; Giordani ve ark., 2019) düzeylerinde tespit etmişlerdir. Böylece oldukça önemli bir gölgeleme etkisine sahip olduğu tespit edilen dağ engelinin, bina ve araçlarda gözlemlenen etkilerle karşılaştırıldığında göz ardı edilmeyecek ölçüde bir zayıflamaya (19.6 dB) neden olduğu sonucuna varılmış ve bu çalışma kapsamında mevcut literatüre bulgu olarak ilk kez kazandırılmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

V2V haberleşmesinde çevresel faktörlerin etkilerinin saptanması link tasarımcıları ve sistem geliştiricileri için oldukça önemlidir. Literatürde verici ve alıcı araçlar arasında bina, araç, ağaç gibi engellerin varlığının V2V kanalındaki etkileri kısmen tartışılmış ve birtakım bulgular sunulmuş olsa da bölgesel coğrafya nedeniyle sıklıkla karşılaşılan alıcı ve verici araçlar arasında dağ eteğinin engel oluşturduğu durumlar için bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada arada dağ engeli bulunan virajlı anayol ortamlarında V2V ölçümleri yapılmıştır. Ardından, ölçüm verileri literatürde yaygın olarak kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri ile modellenmiş ve model uyumları değerlendirilmiştir. Buradan arada dağ engeli bulunan virajlı anayolları çift eğimli yol kaybı modelinin log-normal dağılıma göre çok daha iyi temsil ettiği gözlenmiş ve modeldeki  $n_1$  ve  $n_2$  parametreleri ortalama 1.52 ve 2.91 olarak elde edilmiştir. Son olarak ise V2V haberleşmesinde dağ engelinin sebep olduğu zayıflama etkisi ilk kez araştırılmış ve ortalama zayıflama 19.6 dB olarak bulunmuştur. Bu değer, V2V haberleşmesinde bina ve diğer araçların neden olduğu zayıflama değerleri ile kıyaslandığında oldukça yüksek olup, link tasarımında dikkate alınması gereken bir engel olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların gerek V2V sistem tasarımcılarına gerekse alandaki diğer araştırmacılara faydalı olacağı kanaatindeyiz.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel düzeneğindeki altyapıya desteğinden ötürü Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR'a teşekkürü bir borç biliriz.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Abbas, T., Sjöberg, K., Karedal, J. ve Tufvesson, F. (2015) "A Measurement Based Shadow Fading Model for Vehicle-to-Vehicle Network Simulations", *International Journal of Antennas and Propagation*, 2015, 1-12.
- Boban, M., Vinhoza, T. T. V., Ferreira, M., Barros, J. ve Tonguz, O. K. (2011) "Impact of vehicles as obstacles in Vehicular Ad Hoc Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(1), 15-28.
- Cheng, L., Henty, B. E., Bai, F. ve Stancil, D. D. (2008) "Highway and rural propagation channel modeling for vehicle-to-vehicle communications at 5.9 GHz", 2008 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, APSURSI, 6611(1), 4-5.
- Cheng, L., Henty, B. E., Stancil, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007a) "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) frequency band", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8), 1501-1516.
- Cheng, L., Henty, B. E., Stancil, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007b) "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) frequency band", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8), 1501-1516.
- Cheng, L., Henty, B., Stanci, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007) "A fully mobile, GPS enabled, vehicle-to-vehicle measurement platform for characterization of the 5.9 GHz DSRC channel", *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, 2005-2008.
- Cohda Wireless (2018) Cohda Wireless' 5th generation market ready On-Board Unit. [http://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW\\_Product-Brief-sheet-MK5-OBUnit.pdf](http://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW_Product-Brief-sheet-MK5-OBUnit.pdf) (Erişim: 11 Nisan 2023).
- Fernández, H., Rubio, L., Reig, J., Rodrigo-Peñarrocha, V. M. ve Valero, A. (2013) "Path loss modeling for vehicular system performance and communication protocols evaluation", *Mobile Networks and Applications*, 18(6), 755-765.
- Giordani, M., Shimizu, T., Zanella, A., Higuchi, T., Altintas, O. ve Zorzi, M. (2019) "Path Loss Models for V2V mmWave Communication: Performance Evaluation and Open Challenges", 2019 IEEE 2nd Connected and Automated Vehicles Symposium (CAVS), 1-5.
- Goldsmith, A. (2005) *Wireless communications*.
- He, R., Molisch, A. F., Tufvesson, F., Zhong, Z., Ai, B. ve Zhang, T. (2014) "Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(5), 2237-2248.
- Ibdah, Y. ve Ding, Y. (2017) "Path Loss Models for Low-Height Mobiles in Forest and Urban", *Wireless Personal Communications*, 92(2), 455-465.
- Joo, J., Jeong, H. J. ve Han, D. S. (2018) "Verification of Fresnel Zone Clearance for Line-of-sight Determination in 5.9 GHz Vehicle-to-Vehicle Communications", *Wireless Personal Communications*, 101(1), 239-249.
- Karedal, J., Czink, N., Paier, A., Tufvesson, F. ve Molisch, A. F. (2011) "Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communications", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(1), 323-328.
- Kihei, B., Copeland, J. A. ve Chang, Y. (2015) "Improved 5.9GHz V2V short range path loss model", *Proceedings - 2015 IEEE 12th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, MASS 2015*, 244-252.

- Kuzulugil, K., Hasirci, Z. ve Cavdar, I. H. (2020) "Optimum reference distance based path loss exponent determination for vehicle-to-vehicle communication", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 28(5), 2956-2967.
- Kuzulugil, K., Tugcu, Z. H. ve Cavdar, I. H. (2023) "A Proposed V2V Path Loss Model: Log-Ray", Arabian Journal for Science and Engineering, 1-11.
- Meireles, R., Boban, M., Steenkiste, P., Tonguz, O. ve Barros, J. (2010) "Experimental study on the impact of vehicular obstructions in VANETs", 2010 IEEE Vehicular Networking Conference, VNC 2010, 338-345.
- Onubogu, O., Ziri-Castro, K., Jayalath, D., Ansari, K. ve Suzuki, H. (2014) "Empirical vehicle-to-vehicle pathloss modeling in highway, suburban and urban environments at 5.8 GHz", 2014, 8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2014 - Proceedings, 7-12.
- Rappaport T.S. (2002) Rappaport - Wireless Communications, Principles and Practice.
- Shu, X., Li, C., Chen, W., Yu, J. ve Yang, K. (2018) "Performance Analysis of V2V Radio Channel under Typical Urban Intersection Scenario", 2018 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS), 216-220.
- Turner, J. S. C., Shahrman, A. B., Harun, A., Hashim, M. S. M., Razlan, Z. M., Wan, W. K., Ibrahim, Z., Abdullah, A. H., Fadzilla, M. A., Kassim, K. A. A., Khalid, M. S. A., Jawi, Z., Isa, M. H. M., Murad, S. A. Z. ve Ismail, R. C. (2019) "Effect of Roadways Plantation on Signal Propagation Analysis in Connected Autonomous Vehicle Communication", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 557(1), 12056.
- Vlastaras, D., Abbas, T., Nilsson, M., Whiton, R., Olback, M. ve Tufvesson, F. (2014) "Impact of a truck as an obstacle on vehicle-to-vehicle communications in rural and highway scenarios", 2014 IEEE 6th International Symposium on Wireless Vehicular Communications, WiVeC 2014 - Proceedings.
- Yang, M., Ai, B., He, R., Chen, L., Li, X., Huang, Z., Li, J. ve Huang, C. (2018) "Path Loss Analysis and Modeling for Vehicle-To-Vehicle Communications with Vehicle Obstructions", 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2018.
- Yang, M., Ai, B., He, R., Ma, Z., Mi, H., Fei, D., Zhong, Z., Li, Y. ve Li, J. (2023) "Dynamic V2V Channel Measurement and Modeling at Street Intersection Scenarios", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 71(5), 4417-4432.