

UYDU İLETİŞİM SİSTEMLERİ İÇİN HIZLI HESAPLAMA ARACI: LİNK BÜTÇE HESAPLAYICI ARAYÜZ PROGRAMI

Rabia Beyza Doğan¹, Betül Kaymaz², Özgür Dündar³, Furkan Korkmaz⁴
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya

ÖZET

Bu çalışmada geliştirilen MATLAB tabanlı uydu anteni link bütçesi hesaplayıcısı sunulmaktadır. Uygulama, uydu haberleşme sistemlerinin tasarımı ve analizi için önemli bir araç olarak hizmet vermekte olup kayıp hesaplayıcısı, anten parametreleri hesaplayıcısı ve link bütçesi hesaplayıcısı gibi modülleri içermektedir. Sahada çalışırken telefonda veya tableten hızlıca hesap yapabilme ihtiyacına cevap veren bu uygulama, endüstride çoğunlukla kullanılan programlardan olan Satmaster gibi yazılımların maliyetli lisans gereksinimlerine alternatif bir çözüm sunmaktadır. Atmosferik zayıflama ve yağmur zayıflaması gibi faktörlerin hesaplanmasına odaklanan kayıp hesaplayıcı bölümü ile verici, alıcı ve diğer kayıplar için girdi alan link bütçesi hesaplayıcısı gibi bileşenler barındıran bu uygulama, kullanıcıların pratik deneyim kazanmalarını ve bağlantı marjını hesaplamalarını sağlar.

GİRİŞ

Uydu haberleşme sistemleri, modern dünyada haberleşme, navigasyon, uzaktan algılama ve bilimsel araştırmalar gibi birçok alanda kritik öneme sahiptir. Bu sistemlerin tasarımı ve analizi, karmaşık mühendislik hesaplamalarını gerektiren bir süreçtir. Link bütçesi hesaplamaları, uydu ve yer istasyonu arasındaki sinyalin gücünü ve kalitesini değerlendirmek için kullanılan temel bir yöntemdir. Ancak, bu hesaplamalar genellikle karmaşık matematiksel formüller ve çok sayıda parametre içermekte olup, doğru sonuçlar elde etmek için dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

Bu bağlamda, pratikte kullanılabilir, erişimi kolay ve maliyet etkin bir hesaplama aracı büyük bir ihtiyaçtır. Satmaster gibi yazılımlar, bu tür hesaplamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır ancak yüksek lisans maliyetleri ve uygulamanın karmaşık olması dolayısı ile kullanımı sırasında karşılaşılan zorluklar, alternatif çözümlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen MATLAB tabanlı uydu haberleşmesi link bütçesi hesaplayıcısı, bu ihtiyaca cevap vermek üzere tasarlanmıştır. Uygulama, kullanıcıların hızlı ve doğru hesaplamalar yapabilmesine olanak tanıyan bir arayüz sunmakta ve maliyetli lisans gereksinimlerini ortadan kaldırmaktadır. Üç ana bölümden oluşan bu uygulama, kayıp hesaplayıcısı, anten parametreleri hesaplayıcısı ve link bütçesi hesaplayıcısı gibi modülleri içermektedir. Bu çalışmada, söz konusu uygulamanın detayları, kullanılma yöntemleri ve elde edilen sonuçlar incelenecektir.

¹ Lisans öğrencisi, Rabia Beyza Doğan Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: 20030031015@erbakan.edu.tr

² Lisans öğrencisi, Betül Kaymaz Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: 20030031007@erbakan.edu.tr

³ Dr.öğr.üyyesi, Özgür Dündar Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: ozdundar@erbakan.edu.tr

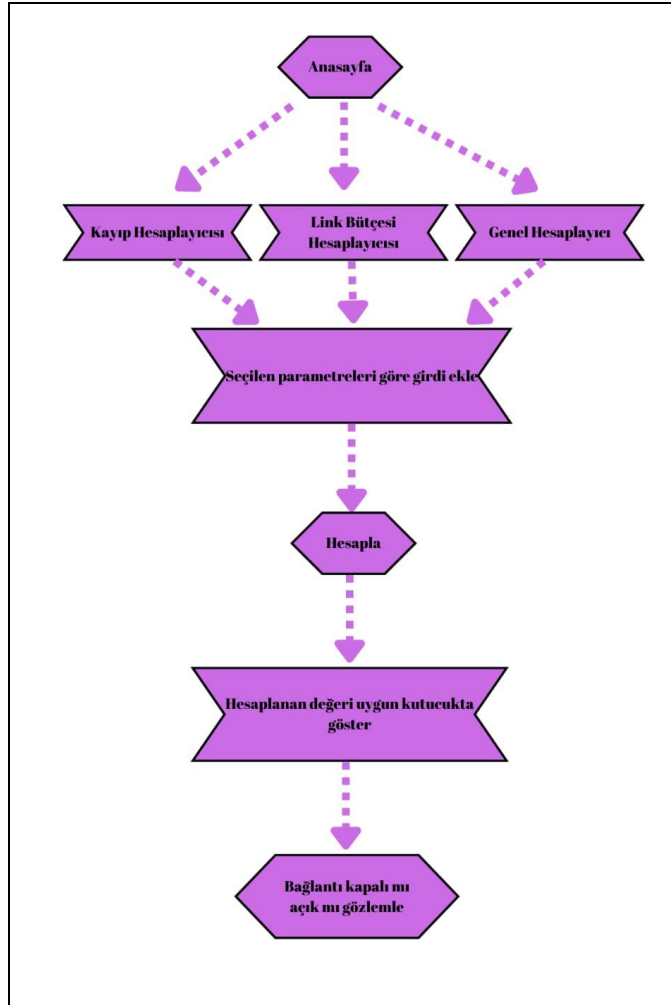
⁴ Dr.öğr.üyyesi, Furkan Korkmaz Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: fkorkmaz@erbakan.edu.tr

YÖNTEM

Bu çalışmada, uydu haberleşme sistemlerinin link bütçesi hesaplamalarını gerçekleştirmek amacıyla MATLAB GUI (Grafik Kullanıcı Arayüzü) kullanılmıştır. MATLAB GUI, kullanıcı dostu bir arayüz sağlayarak karmaşık mühendislik hesaplamalarını daha erişilebilir hale getiren güçlü bir araçtır. Uygulamanın geliştirilmesi sırasında, link bütçesi formülleri ve ilgili parametreler GUI'ye entegre edilmiştir. Bu sayede, kullanıcılar çeşitli hesaplamaları hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirebilme imkanına sahip olmuşlardır. Uygulama, kayıp hesaplayıcısı, anten parametreleri hesaplayıcısı ve link bütçesi hesaplayıcısı olmak üzere üç ana modülden oluşmaktadır. Alt başlıklar altında, bu modüllerin her birinin detayları ve çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanacaktır [2] [3].

LİNK BÜTÇE HESAPLAYICI ARAYÜZ PROGRAMI

Link bütçe hesaplayıcı arayüz programı, üç ana bölümden oluşmaktadır: kayıp hesaplayıcısı (loss calculator), genel hesaplayıcı (general calculator) ve link bütçesi hesaplayıcısı (link budget calculator). Kayıp hesaplayıcısı, uydu haberleşmesinde oluşabilecek tüm kayıpları ayrı ayrı hesaplar. Bu sayede kullanıcı, hangi kayıpları hesaba katmak istediğine ve hangilerini göz ardı edebileceğine karar verebilir. Genel hesaplayıcı, genel anten parametrelerini hesaplar ve kullanıcıya bu parametreler hakkında genel bir bilgi sunar. Link bütçesi hesaplayıcısı ise bu uygulamanın temelini oluşturan bölüm olup, uydu haberleşmesi sırasında link bütçesini hesaplar. Bu yapı, kullanıcının uydu haberleşmesi sırasında gereken analizleri yapmasına olanak tanır.

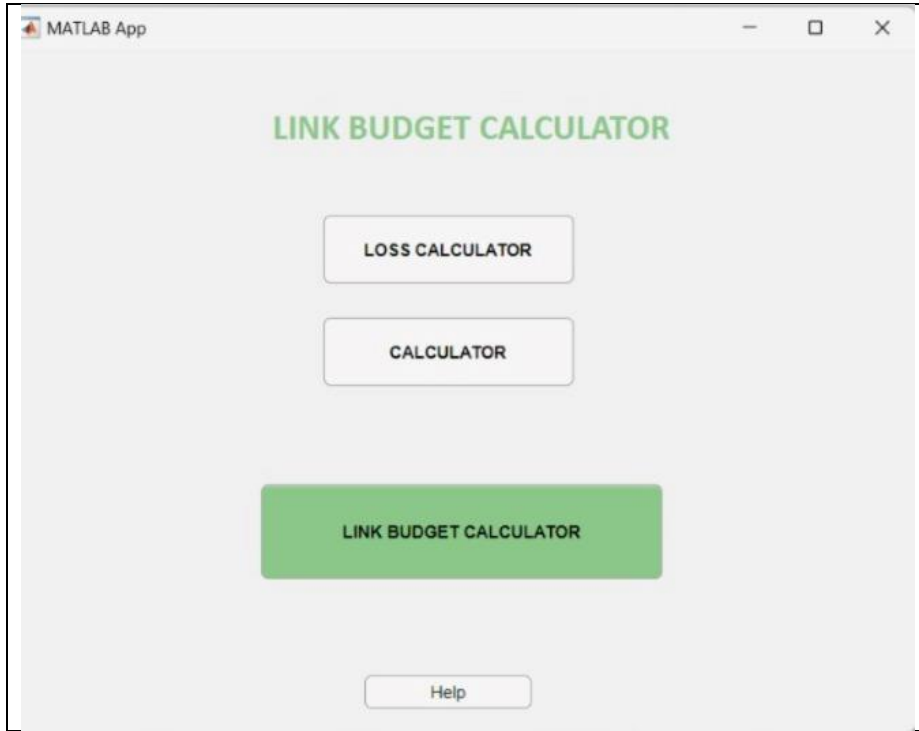


Şekil 1: Akış Diyagramı

Bu şema, belirli parametrelere göre hesaplamalar yapmak için izlenmesi gereken adımları göstermektedir. Başlangıç aşamasında, kullanıcının üç farklı hesaplayıcıdan birini seçmesi gerekmektedir: Kayıp Hesaplayıcı, Bağlantı Bütçesi Hesaplayıcı veya genel bir Hesaplayıcı. Seçim yapıldıktan sonra, kullanıcıdan seçilen parametreye uygun giriş yapması istenir. Ardından hesaplama işlemi gerçekleştirilir ve hesaplanan değer, ilgili kutuda görüntülenir. Son olarak, kullanıcının bağlantının açık mı yoksa kapalı mı olduğunu gözlemlemesi gerekmektedir. Bu adımlar, kullanıcıya sistematik bir şekilde doğru hesaplama sonuçlarına ulaşmasını sağlar. [4]

Ana Sayfa

Uygulamanın anasayfası, kullanıcıları karşılayan ve farklı modüllere erişim sağlayan ana giriş noktasıdır. Bu sayfa, kullanıcı dostu bir arayüzle tasarlanmış olup, kayıp hesaplayıcısı, anten parametreleri hesaplayıcısı ve link bütçesi hesaplayıcısı gibi ana modüllere kolay erişim imkanı sunar. Anasayfa, kullanıcıların hızlı bir şekilde ihtiyaç duydukları hesaplama aracına yönelmelerine yardımcı olmak için basit ve anlaşılır bir navigasyon sistemi içerir. Ayrıca, uygulamanın genel işlevsellikleri hakkında kısa bilgilendirmeler ve kullanım talimatları da bu sayfada yer almaktadır. Kullanıcılar, buradan istedikleri modülü seçerek ayrıntılı hesaplamalara başlayabilir ve uydu haberleşme sistemlerinin tasarım ve analiz süreçlerini daha verimli bir şekilde yürütebilirler.



Şekil 2: Programın Ana Sayfası

Loss Calculator (Kayıp Hesaplayıcısı)

Kayıp hesaplayıcısı, uydu haberleşme sistemlerinde sinyal kayıplarını hesaplamak için kullanılan çeşitli parametreleri içerir [10]. Bu bölüm, uydu ile yer istasyonu arasındaki iletişimi etkileyen faktörleri değerlendirerek daha doğru ve güvenilir link bütçesi hesaplamaları yapılmasını sağlar. Kayıp hesaplayıcısı Pointing Losses, Sky Noise, Polarization Loss gibi aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

Pointing Losses (Yönlendirme Kayıpları): Antenlerin hedefi doğru bir şekilde işaretleyememesi nedeniyle oluşan sinyal kayıplarını hesaplar.

Sky Noise (Gökyüzü Gürültüsü): Uydu sinyalinin atmosferdeki gürültü kaynakları tarafından bozulmasını değerlendirir.

Polarization Loss (Polarizasyon Kaybı): Uydu ve yer istasyonu antenlerinin polarizasyon uyumsuzluğundan kaynaklanan kayıpları hesaplar.

Gas Absorption (Gaz Emilimi): Atmosferde bulunan gazların sinyal emilimini değerlendirir.

Rain Attenuation (Yağmur Zayıflaması): Yağmur damlacıklarının sinyali zayıflatma etkisini hesaplar.

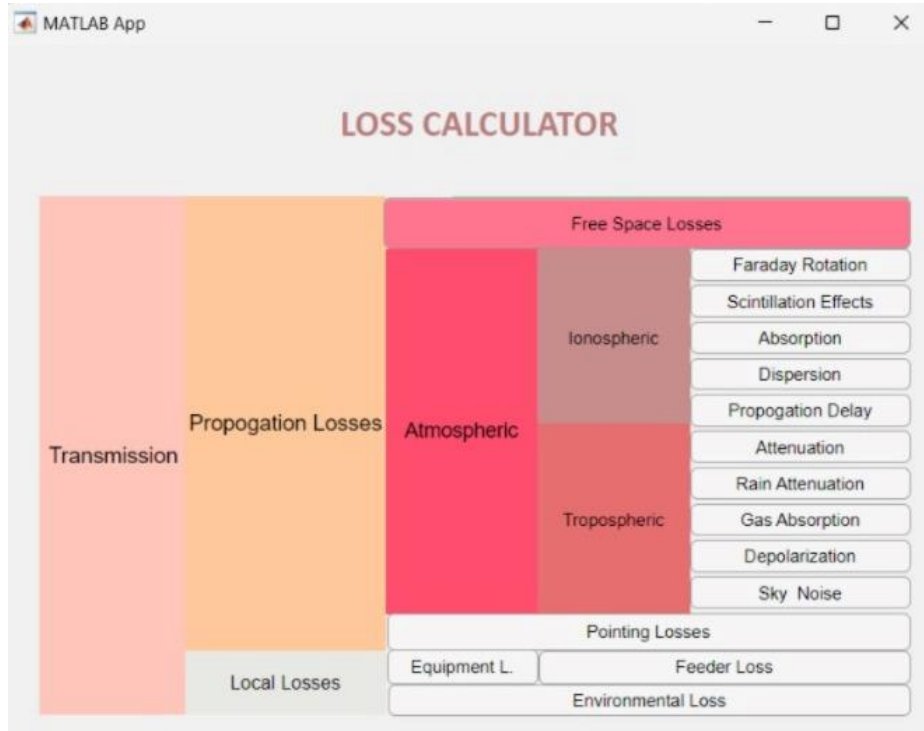
Attenuation (Zayıflama): Genel zayıflama faktörlerini içerir ve çeşitli çevresel etkilerden kaynaklanan sinyal kayıplarını değerlendirir.

Atmospheric Absorption (Atmosferik Emilim): Atmosferdeki çeşitli moleküllerin (örneğin, oksijen ve su buharı) sinyal emilim etkisini hesaplar [5].

Scintillation Effects (Titreşim Etkileri): Atmosferik türbülans nedeniyle sinyalde oluşan hızlı değişimleri değerlendirir.

Faraday Rotation (Faraday Dönmesi): Sinyalin polarizasyon yönünde, Dünya'nın manyetik alanı nedeniyle meydana gelen dönüşleri hesaplar [6].

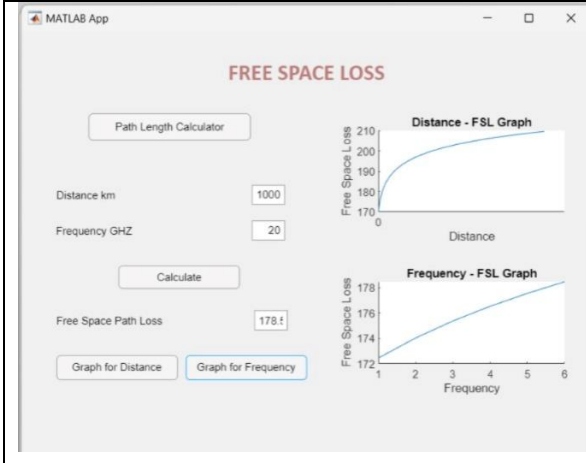
Free Path Loss (Serbest Yol Kaybı): Sinyalin boşlukta yayılırken maruz kaldığı kayıpları hesaplar ve mesafeye bağlı olarak sinyal gücünde meydana gelen azalmayı değerlendirir.



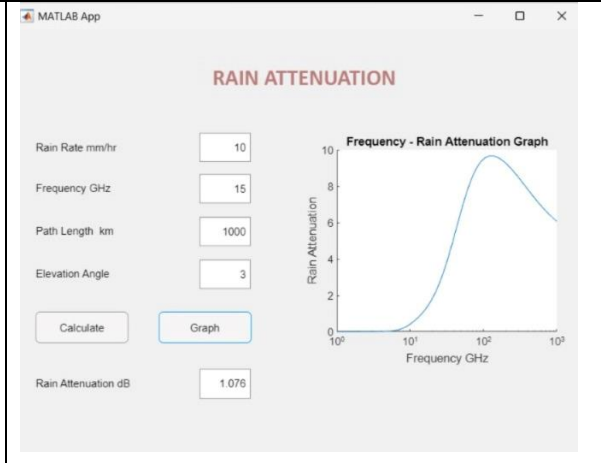
Şekil 3: Loss Calculator

Kayıp hesaplayıcısı modülü, bu faktörleri göz önünde bulundurarak kullanıcıların uydu haberleşme sistemlerinin performansını optimize etmelerine yardımcı olur. Her bir bileşen, belirli parametrelerin girilmesiyle hesaplanır ve toplam kayıp miktarı belirlenir. Bu sayede, kullanıcılar sistemlerinin ne kadar verimli çalıştığını anlayabilir ve gerekli iyileştirmeleri yapabilirler.

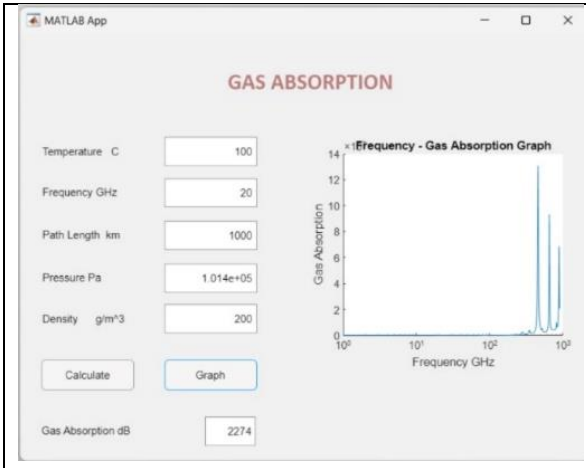
Kayıplar



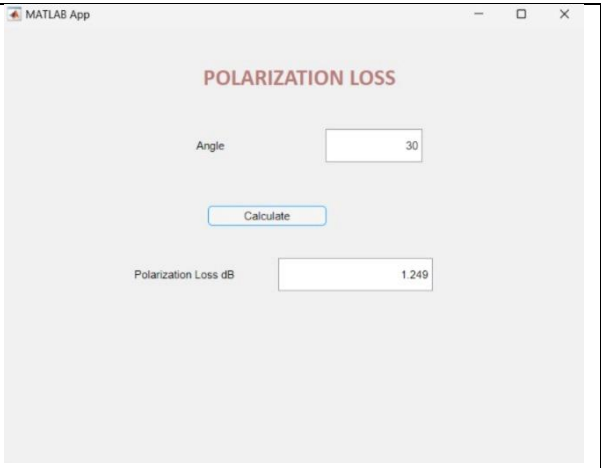
Şekil 4: Serbest Yol Kaybı[7]



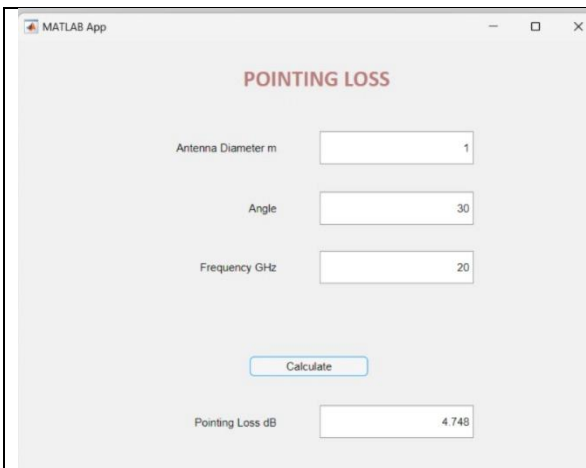
Şekil 5: Yağmur Zayıflaması [8]



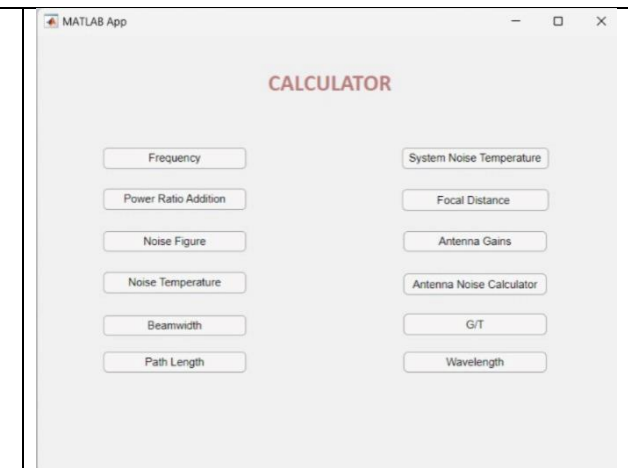
Şekil 6: Gaz Emilimi



Şekil 7: Polarizasyon Kaybı



Şekil 8: Yönlendirme Kayıpları [9]



Şekil 9: Hesaplayıcı

CONVERT TO FREQUENCY

Wavelength m

Frequency GHz

Şekil 10: Frekansa Çevirme

POWER RATIO

Value 1 W

Value 2 W

RESULTS

Power Ratio dB

Şekil 11: Güç Oranı

CONVERT TO NOISE FIGURE

Noise Temperature K

Noise Figure dB =

Şekil 12: Gürültü Faktörüne Dönüştürme

CONVERT TO NOISE TEMPERATURE

Noise Figure dB =

Noise Temperature K

Şekil 13: Gürültü Sıcaklığına Dönüştürme

CALCULATE BEAMWIDTH

Operation Frequency GHz

Aperture Size in Meters

Beamwidth in degrees

Şekil 14: Işın Genişliğini Hesaplama

PATH LENGTH

Satellite Latitude

Satellite Longitude

Satellite Altitude

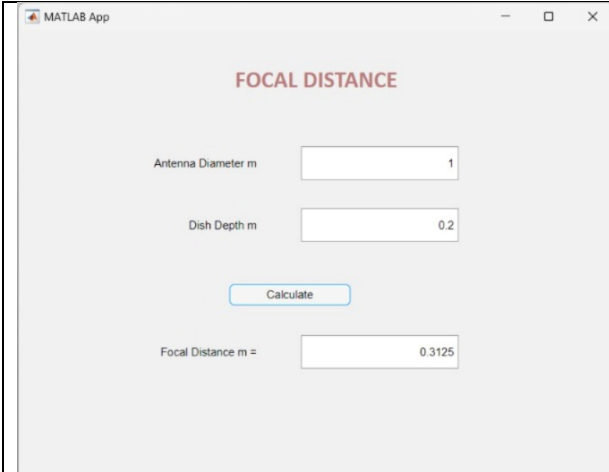
Ground Station Latitude

Ground Station Longitude

Ground Station Altitude

Path Length km

Şekil 15: Yol Uzunluğu



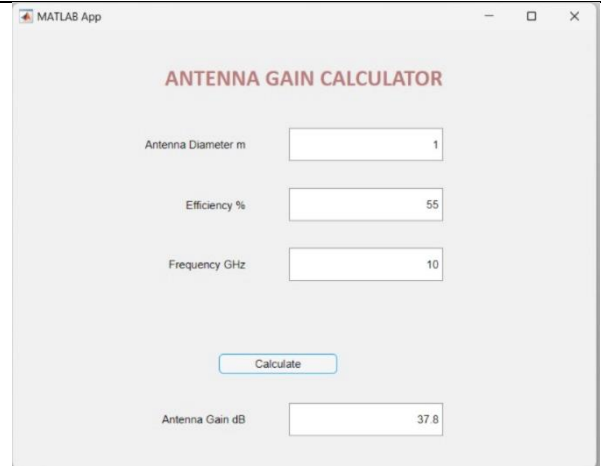
FOCAL DISTANCE

Antenna Diameter m

Dish Depth m

Focal Distance m =

Şekil 16: Odak Mesafesi



ANTENNA GAIN CALCULATOR

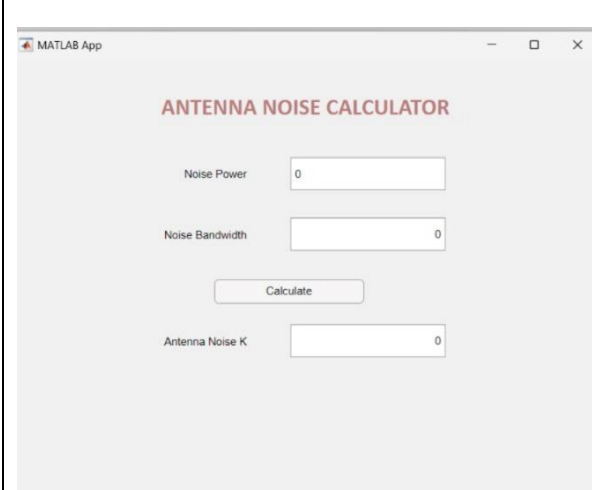
Antenna Diameter m

Efficiency %

Frequency GHz

Antenna Gain dB

Şekil 17: Anten Kazancı Hesaplayıcı



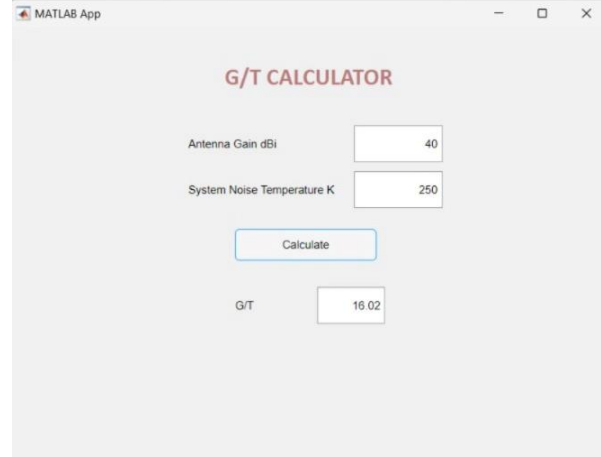
ANTENNA NOISE CALCULATOR

Noise Power

Noise Bandwidth

Antenna Noise K

Şekil 18: Anten Gürültü Hesaplayıcı



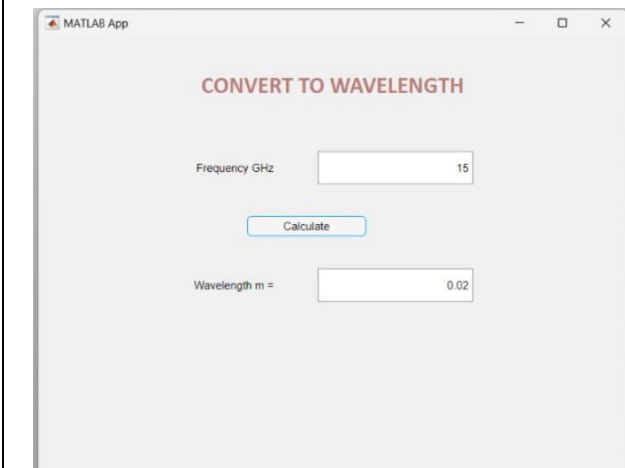
G/T CALCULATOR

Antenna Gain dBi

System Noise Temperature K

G/T

Şekil 19: G/T Hesaplayıcı



CONVERT TO WAVELENGTH

Frequency GHz

Wavelength m =

Şekil 20: Dalga Boyuna Dönüştürücü

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Uygulamanın çalışma yöntemini göstermek üzere üç farklı durum hesaplanmıştır. Durum 1'de, link marjının Ku bandı için tipik bir değer olan 8 dB'in altında olması nedeniyle bağlantının kapalı olduğu kabul edilmektedir. Sonuçlar Şekil 21'te görülmektedir. Durum 2'de, ilk duruma göre daha yüksek bir frekansta link marjı artmakta ve bu da bağlantıyı uygulanabilir ve operasyonel hale getirmektedir. Sonuçlar Şekil 22'da görülmektedir. Durum 3'te, frekans bandı dışında tüm değerler Durum 1 ile tutarlıdır, ancak frekans bandı L-bandı olarak farklılık göstermektedir. L-bandı için tipik marj değeri 3 dB olarak kabul edilir, bu nedenle bağlantının L-bandında geçerli olduğu doğrulanır. Sonuçlar Şekil 23'de görülmektedir.

LINK BUDGET CALCULATOR

System Information
Satellite Name: AntennaXplora
Site Name: Koyceğiz
Band: Ku Band

Transmitter
Frequency GHz: 13
Power W: 50
Antenna Diameter T m: 3
TX Loss dB: 1
Modulation Loss dB: 1
Bandwidth: 75

Losses
Free Space Loss dB: 200
AML dB: 1
PL dB: 1
AA dB: 0.2
Additional Losses dB: 0

Receiver
Threshold dB: -100
Antenna Diameter R m: 0.9
RX Loss dB: 1
Temperature K: 250

Results
Wavelength m: 0.02308
Power dBm: 46.99
Antenna Gain T. dB: 50.06
Total Loss dB: 202.2
EIRP dB: 95.05
Link Margin dB: 6.769
S/N dB: 31.28

Receiver Results
Antenna R G. dB: 39.6
G/T dB/K: 15.62
Noise Figure dB: 2.7
Received Signal dB: -93.23

LINK IS: CLOSED

Şekil 21: Durum 1 [11] [12]

LINK BUDGET CALCULATOR

System Information
Satellite Name: AntennaXplora
Site Name: Koyceğiz
Band: Ku Band

Transmitter
Frequency GHz: 15
Power W: 50
Antenna Diameter T m: 3
TX Loss dB: 1
Modulation Loss dB: 1
Bandwidth: 75

Losses
Free Space Loss dB: 200
AML dB: 1
PL dB: 1
AA dB: 0.2
Additional Losses dB: 0

Receiver
Threshold dB: -100
Antenna Diameter R m: 0.9
RX Loss dB: 1
Temperature K: 250

Results
Wavelength m: 0.02
Power dBm: 46.99
Antenna Gain T. dB: 51.3
Total Loss dB: 202.2
EIRP dB: 96.29
Link Margin dB: 9.255
S/N dB: 31.28

Receiver Results
Antenna R G. dB: 40.85
G/T dB/K: 16.87
Noise Figure dB: 2.7
Received Signal dB: -90.75

LINK IS: OPEN

Şekil 22: Durum 2

LINK BUDGET CALCULATOR

System Information
Satellite Name: AntennaXplora
Site Name: Koyceğiz
Band: L Band

Transmitter
Frequency GHz: 12
Power W: 50
Antenna Diameter T m: 3
TX Loss dB: 1
Modulation Loss dB: 1
Bandwidth: 75

Losses
Free Space Loss dB: 200
AML dB: 1
PL dB: 1
AA dB: 0.2
Additional Losses dB: 0

Receiver
Threshold dB: -100
Antenna Diameter R m: 0.9
RX Loss dB: 1
Temperature K: 250

Results
Wavelength m: 0.025
Power dBm: 46.99
Antenna Gain T. dB: 49.37
Total Loss dB: 202.2
EIRP dB: 94.35
Link Margin dB: 5.378
S/N dB: 31.28

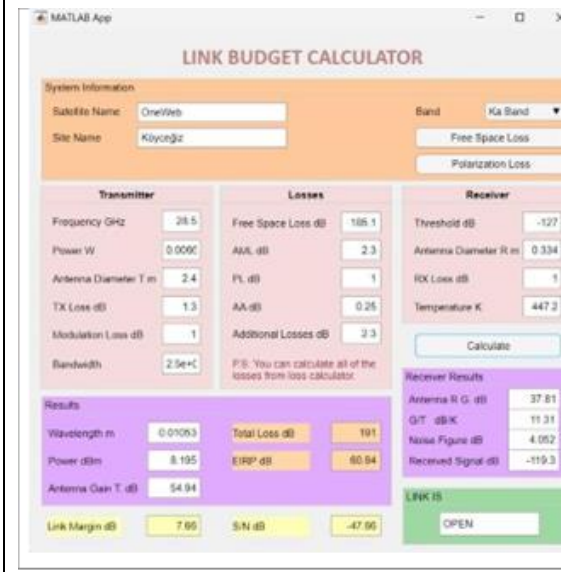
Receiver Results
Antenna R G. dB: 38.91
G/T dB/K: 14.93
Noise Figure dB: 2.7
Received Signal dB: -94.62

LINK IS: OPEN

Şekil 23: Durum 3

Uygulama, bir case study ile test edilmiş ve normal hava koşullarında elde edilen sonuçların endüstri standardı olan Satmaster programının sonuçlarıyla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Case study yapılırken OneWeb uydusunun verileri [şekil 25], kullanılmış olup MATLAB ile geliştirilen uygulama sonuçları [şekil 24] SatMaster programının sonuçları [şekil 26-27] ile karşılaştırılmıştır.

Öğrenci Arayüzü, Satmaster ve OneWeb sonuçları arasındaki temel farklılıklar, öncelikle EIRP ve bağlantı marjı hesaplamalarında ortaya çıkmaktadır. Bağlantı marjı varyansları, her sistemde hesaba katılan farklı kayıplardan kaynaklanmaktadır. Öğrenci Arayüzü ve Satmaster'da belirli kayıpların ihmal edilmesi nedeniyle bağlantı marjında farklılıklar görülebilir, bu da potansiyel hatalara yol açabilir. EIRP durumunda, Öğrenci Arayüzü ve OneWeb aynı değerleri sunarken, Satmaster her ikisinden daha düşük bir değer sunar. Bu farklılık yine hesaplamalarda dikkate alınan kayıplardaki farklılıklara bağlanabilir.



Şekil 24: Durum Çalışması (OneWeb)

Parameter	Telesat	OneWeb	SpaceX	
Frequency *	28.5	28.5	28.5	GHz
Bandwidth *	2.1	0.25	0.5	GHz
Tx. Antenna D *	3.5	2.4	3.5	m
EIRP	75.9	63.2	68.4	dBW
MODCOD	64APSK	256APSK	256APSK	-
	3/4	32/45	3/4	
Roll-off factor	0.1	0.1	0.1	-
Spectral eff.	4.1	5.1	5.4	bps/Hz
Path distance *	2439	1504	1684	km
Elevation Angle *	20	55	40	deg
FSPL	189.3	185.1	186.1	dB
Atmospheric loss	4.8	2.3	2.9	dB
Rx antenna gain *	31.8	37.8	40.9	dBi
System Temp.	868.4	447.2	535.9	K
G/T *	2.4	11.3	13.6	dB/K
Rx C/N0	25.6	32.5	32.4	dB
Rx C/ACI	27	27	27	dB
Rx C/ASI	23.5	27	27	dB
Rx C/XPI	25	25	25	dB
HPA C/3IM	25	30	30	dB
Rx Eb/(N0 + I0)	11.4	13.3	13.3	dB
Req. Eb/N0	11.0	12.3	12.3	dB
Link Margin	0.36	1.03	1.02	dB
Data rate	9857.1	1341.1	2682.1	Mbps
Shannon limit	1.09	1.06	1.06	dB

Şekil 25: OneWeb Uplink Parametreleri [1]

Carrier/Link Input Parameters	Value	Units
Modulation	256-PSK	
Required Eb/No	12.23	dB
Information rate	1341.1	Mbps
Information rate overhead	0	%
FEC code rate	0.7111	
Spreading gain	7.25	dB
(1 + Roll off factor)	1.1	
Carrier spacing factor	1.1	
Bandwidth allocation step size	0	MHz
Implementation Loss	0	dB
System margin	1.03	dB
General Calculations	Value	Units
XPD during rain	40.01	dB
Propagation time delay	0.005017	seconds
Antenna gain	55.24	dBi
Availability (average year)	99.5000	%
Link downtime (average year)	43.830	hours
Availability (worst month)	98.4404	%
Link downtime (worst month)	11.392	hours

Şekil 26: Satmaster Genel Hesaplama Sonuçları

Uplink Calculation	Clear	Rain	Units
Uplink transmit EIRP	55.90	55.90	dBW
Uplink power control used	0.00	0.00	dB
Antenna mispoint	0.00	0.00	dB
Free space loss	185.09	185.09	dB
Atmospheric absorption (Ag(1%) cap)	0.25	0.40	dB
Tropospheric scintillation	0.00	0.19	dB
Cloud attenuation (Ac(1%) cap)	0.00	0.44	dB
Rain attenuation	0.00	1.72	dB
Total attenuation (gas-rain-cloud-scintillation)	0.25	2.58	dB
Other path losses	2.30	2.30	dB
Power flux density	-78.64	-80.97	dBW/m2
C/No (thermal)	108.16	105.83	dB-Hz
C/N (thermal)	17.19	14.85	dB
C/ACI	27.00	24.67	dB
C/ASI	27.00	24.67	dB
C/XPI	25.00	24.87	dB
C/IM	29.00	29.00	dB
C/I (total)	20.75	19.45	dB
C/(N+I)	15.60	13.56	dB
Eb/(No+Io)	15.30	13.26	dB
Implementation loss	0.00	0.00	dB
System margin	1.03	1.03	dB
Net Eb/(No+Io)	14.27	12.23	dB
Required Eb/(No+Io)	12.23	12.23	dB
Excess margin	2.04	0.00	dB

Şekil 27: Satmaster Uplink Hesaplama Sonuçları

SONUÇ

Bu çalışmada, MATLAB tabanlı uydu haberleşmesi link bütçesi hesaplayıcısı geliştirilmiş ve tanıtılmıştır. Uygulama, kayıp hesaplayıcısı, anten parametreleri hesaplayıcısı ve link bütçesi

hesaplayıcısı modülleriyle, uydu haberleşme sistemlerinin tasarım ve analizinde kullanıcılara önemli bir kolaylık sağlamaktadır.

Kayıp hesaplayıcısı modülü, çeşitli zayıflama ve kayıp faktörlerini dikkate alarak daha doğru ve güvenilir link bütçesi hesaplamaları yapılmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca, grafiksel analizler sayesinde kullanıcılar, farklı parametrelerin link bütçesi üzerindeki etkilerini görsel olarak inceleyebilmekte ve daha bilinçli kararlar alabilmektedir.

Uygulamanın sunduğu kullanıcı dostu arayüz ve ekonomik avantajlar, endüstri standardı yazılımlara uygun bir alternatif sunmaktadır. Bu sayede, sahada çalışan teknik elemanlar ve araştırmacılar, uydu haberleşme sistemlerini optimize etmek için gerekli hesaplamaları hızlı ve etkili bir şekilde yapabilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, uydu haberleşme sistemlerinin performansını artırmak için pratik ve erişilebilir bir araç sunmakta olup, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için değerli bir kaynak olma potansiyeline sahiptir. Bu hesaplayıcının, uydu haberleşme sistemlerinin daha verimli ve güvenilir bir şekilde tasarlanması ve analiz edilmesi sürecine katkı sağlaması beklenmektedir.

Bu uygulama, öğrencilere uydu haberleşme sistemlerinin karmaşıklığını anlamalarına ve tasarım becerilerini geliştirmelerine olanak tanırken, aynı zamanda endüstride uydu haberleşmesi alanında çalışan profesyoneller için de değerli bir araç olabilir.

GELECEK ÇALIŞMALAR

Geliştirilen link bütçesi hesaplayıcı arayüz programının daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşabilmesi için, uygulamanın mobil cihazlar için bir uygulama haline getirilmesi planlanmaktadır. Bu sayede kullanıcılar, uydu haberleşme analizlerini mobil cihazları üzerinden de gerçekleştirebilecektir.

Kaynaklar

- [1] I. del Portillo, B. G. Cameron, ve E. F. Crawley, "A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband,"
- [2] Hunt, B.R., Lipsman, R.L., & Rosenberg, J.M. (2001). A guide to MATLAB: For Beginners and Experienced Users (1. baskı)
- [3] Attaway, S. (2009). Solutions for MATLAB: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving (1. baskı).
- [4] Link Budget Analysis: Getting Started," AtlantaRF. [Online]. Available: www.AtlantaRF.com. Accessed on: December 13, 2023.
- [5] "What is the Atmospheric Absorption? Glossary of Satellite Terms," TS2 Space. [Online]. Available: <https://ts2.space/en/what-is-the-atmospheric-absorption-glossary-of-satellite-terms/#gsc.tab=0>. Accessed on: December 24, 2023.
- [6] In Satellite Communication, Faraday Rotation is Ca...," Testbook. [Online]. Available: <https://testbook.com/question-answer/in-satellite-communication-faraday-rotation-is-ca-5f5be403ea6ea45dfb662cbf9>. Accessed on: December 24, 2023.

- [7] R. K. Crane ve D. W. Blood, "Handbook for the Estimation of Microwave Propagation Effects: Link Calculations for Earth-Space Paths (Path Loss and Noise Estimation)," June 1979.
- [8] M. Zubair, Z. Haider, S. A. Khan, ve J. Nasir, "Atmospheric Influences on Satellite Communications," COMSATS Institute of Information Technology, Islamabad, COMSATS Institute of Information Technology, Abbott Abad
- [9] D. H. Ugochi, "Analysis of Antenna Point Loss in Satellite Communication Link," Science and Technology Publishing (SCI & TECH), vol. 3, issue 10, Oct. 2019, ISSN: 2632-1017.
- [10] C. J. R. Capela, "Protocol of Communications for VORSAT Satellite - Transmission Losses," Master's thesis, Electrical Engineering, Supervisor: Prof. S. R. Cunha, April 2012.
- [11]"ReceivingAntenna,"ScienceDirect.[Online].Available:<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/receiving-antenna#:~:text=The%20purpose%20of%20a%20receiving,and%20processing%20by%20a%20receiver>. Accessed on: December 25, 2023.
- [12] C. University-Erbil Scientific Journal, "Satellite Link Budget Calculator by Using Matlab/GUI," Cihan University-Erbil Scientific Journal, vol. 2017, special issue 1, pp. 160-171, Jan. 2017. DOI: 10.24086/cuesj.si.2017.n1a14.