

## PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU KULLANILARAK TÜRKİYE BÖLGESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMİ İÇİN YÖRÜNGE ENİYİLEMESİ

Arif Can Başbüyük\*  
Türk Hava Kurumu  
Üniversitesi, Ankara

Halil Ersin Söken†  
Orta Doğu Teknik  
Üniversitesi, Ankara

### ÖZET

*Bu çalışmada, daha önce bir artırım sistemi (İng. augmentation system) olarak tasarlanılan Türkiye Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi (TBNUS) için gerekli yörünge eniyileme analizleri yapılacaktır. Bu tasarımda önceki çalışmalarımızla ortak olarak konum ve kapsama alanı benzerlikleri nedeniyle Japonya Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi (BNUS) olan Sanki-Başüstü Uydu Sistemi (SBUS) [İng. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)] temel alınmıştır. Bu çalışmada, yine SBUS'nin ilk aşamasının bir artırım sistemi olarak GPS (İng. Global Positioning System) ile bütünleşik işlev görmesi gibi TBSUS'nin ilk aşamalarının benzer bir artırım sistemi işlevi görmesi planlanmaktadır. Bu çerçevede yörünge tasarımı değerlendirilecektir. Bu değerlendirmede geometrik kesinlik seyreltisi (GKS) [İng. geometric dilution of precision (GDOP)] değeri nicel karşılaştırma yapmaya imkan veren tasarım parametresi olarak kullanılacaktır. Farklı olarak eniyileme koşulları artırılacak ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması [İng. Particle Swarm Optimization Algorithm] kullanılarak yörünge tasarımlarının eniyilemesi gerçekleştirilecektir. Eniyileme için hedef bölge olarak tüm Türkiye seçilmiştir.*

### TERMİNOLOJİ

**BNUS** Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi

**e** Yörünge Basıklık Değeri [İng. eccentricity (e)]

**GKS** Geometrik Kesinlik Seyreltisi [İng. geometric dilution of precision (GDOP)]

**GPS** Küresel Konumlama Sistemi [İng. Global Positioning System]

**i** Yörünge Eğiklik Açısı [İng. inclination (i)]

\*Ar. Gör., Uçak Müh. Böl., E-posta: acbasibuyuk@thk.edu.tr

†Dr. Öğr. Üyesi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: esoken@metu.edu.tr

**KNUS** Küresel Navigasyon Uydu Sistemi

**PSE** Parçacık Sürü Eniyileme [İng. Particle Swarm Optimization (PSO)]

**SBUS** Sanki-Başüstü Uydu Sistemi [İng. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)]

**TBNUS** Türkiye Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi

**YSY** Yer Senkronize Yörünge [İng. geosynchronous orbits]

$\Omega$  Yükselme Dügüm Açısı [İng. RAAN]

## GİRİŞ

Bu çalışmada Türkiye için BNUS'nin yörünge tasarımı üzerine çalışılmıştır. KNUS tüm dünya için konumlama servisi vermektedir. Şu an operasyonel olan dört KNUS mevcuttur. Bunlar GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou-2'dir. [Hofmann-Wellenhof ve Diğerleri, 2007]

BNUS ise dünyanın sadece belirli bir bölgesine hizmet veren sistemdir. Japonya'nın SBUS GPS'e ek olarak konumlama servisi sağlayan bir artırım sistemidir. SBUS'nin BNUS'nden farkı artırım sistemi olması ve bir KNUS'e ek olarak çalışmasıdır [Wu ve Diğerleri, 2004]. SBUS'nin kurulmasındaki temel amaç yüksek gökdelenleri barındıran şehirlerdeki konum ve zamanlama servis sinyallerinin kullanıcıya doğru ve zamanında ulaşabilmesi için gerekli olan yüksek yükselme açısını sağlamasıdır. GPS gibi sistemlerin uydularının yükselme açıları yüksek gökdelenlerin bulunduğu cadde ve sokaklarda konumlama ve zamanlama servisi için yeterli değildir. Bu gibi bölgelerde yüksek konum hassasiyeti elde etmek için bir artırım sistemi olan SBUS ile GPS desteklenmelidir.

Önceki bir çalışmamızda [Büyük ve Diğerleri, 2019] Türkiye için BNUS'nin yörüngelerini tasarlarken enlem bakımından benzer konumda yer aldığından Japonya'nın SBUS sistemini baz almıştık. SBUS sisteminin Ankara'da sağlayabileceği konum hassasiyeti hesaplanmış ve bu sistemin BNUS olarak kullanıldığında konum hassasiyetinin askeri uygulamalar için yeterli kalmayacağı görülmüştür.

Daha sonraki çalışmamızda [Başibüyük ve Diğerleri, 2020] Türkiye için BNUS'nin ilk başlarda artırım sistemi olması değerlendirilmiş ve navigasyon uydularının yörüngeleri Ankara için eniyilenmiştir. Eniyileme parametresi olarak GKS değeri [İng. (GDOP)] kullanılmıştır. GKS değeri NUS'nin sağlayacağı konum hassasiyetini nicel bir değerle ifade eder. GKS değerinin küçük olması uyduların gökyüzünde geometrik olarak dağınık bir halde bulunması ve iyi bir konum hassasiyeti vermesi anlamına gelir [Choi ve Diğerleri, 2013].

BNUS için GKS değeri kullanılarak yörünge tasarımı yapılmış benzer çalışmalar vardır [Xia ve Diğerleri, 2020] ,[Keyvani ve Diğerleri, 2019].

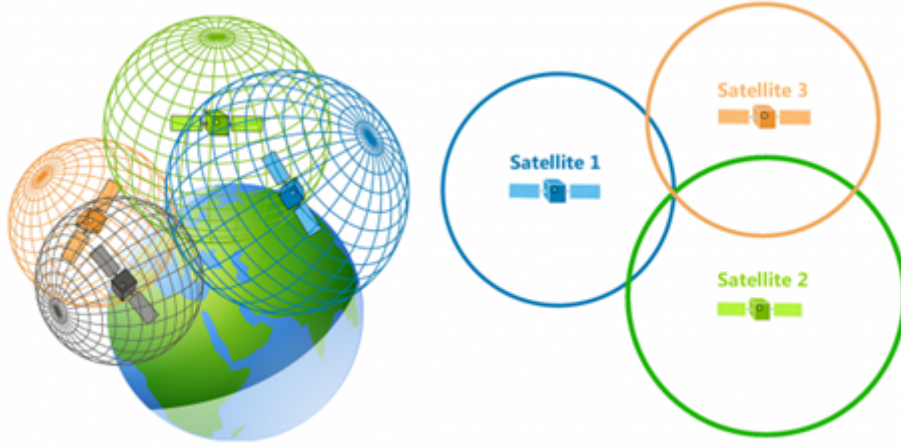
Bu çalışmada eniyileme yapılırken uyduların yörünge basıklık, eğiklik ve yükselme düğüm açısı değişken olarak alınmıştır. Eniyileme algoritması olarak PSE algoritması kullanılmıştır. PSE algoritmasında [Eberhart ve Kennedy, 1995] takip edilmiştir. Önceki çalışmalarımızdan farklı olarak PSE algoritması için hedef bölge olarak tüm Türkiye seçilmiştir.

## YÖNTEM

### Geometrik Kesinlik Seyreltimi

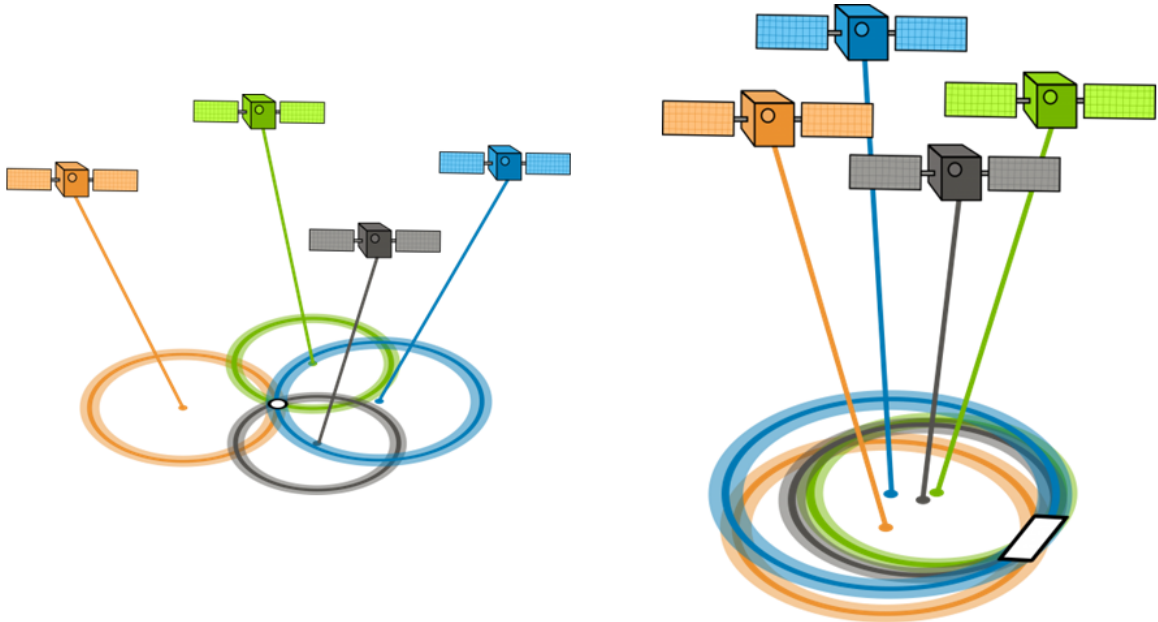
GKS değeri gökyüzündeki uydu dağılımının konumlama hassasiyetine nasıl etki ettiğini nicelleştiren bir parametredir. Konumlama hassasiyetinin yüksek olabilmesi için GKS değerinin küçük olması

gerekmektedir. Minimum GKS değerini veren uydu dağılımı Şekil 1'deki gibidir. Minimum GKS değeri için uyduların gökyüzünde ayrışması ve düzgün bir dağılımında olması gerekir.



Şekil 1: Minimum GKS değerini veren uydu dağılımı [GISGeography, 2022]

Şekil 2'in solundaki uydu dağılımı minimum GKS değerini verecek uydu dağılımıdır. Şeklin sağındaki dağılım ise maksimum GKS değerini verecek dağılımdır. Uydular tek bir nokta etrafında toplanıp yaklaşırlarsa GKS değeri büyür. [Langley, 1999]



Şekil 2: Minimum ve maksimum GKS değerini veren uydu dağılımları [GISGeography, 2022]

GKS değerinin hesaplanılmasında [Kaplan ve Hegarty, 2006] takip edilmiştir.

Alicı ve uydular arasındaki pozisyon ve zaman farkı  $\Delta\vec{x}$  ile sanki-mesafe değerleri  $\Delta\vec{\rho}$  arasındaki ilişki denklem 1 ile verilmiştir.

$$H\Delta\vec{x} = \Delta\vec{\rho}, \quad (1)$$

$H$  matrisi bağıl pozisyon vektörü yönündeki birim vektörler olan  $\vec{a}_i$ 'leri barındırır. Burada  $n$  NUS'ndeki uydu sayısına bağlı olarak değişmektedir.

$$H = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{xn} & a_{yn} & a_{zn} & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$H$  matrisi kullanılarak hesaplanan  $(H^T H)^{-1}$  matrisinden GKS değeri bulunur.  $(H^T H)^{-1}$  matrisinin bileşenleri denklem 3 ile gösterilir.

$$(H^T H)^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

GKS değeri  $(H^T H)^{-1}$  matrisinin izinin karekökü alınarak bulunur.

$$\text{GKS} = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}}, \quad (4)$$

### Parçacık Sürü Eniyileme Algoritması

Eniyilemesi yapılacak sistemin sınırları bilindiğinde uygulanabilecek algoritmalarından birisi de PSE algoritmasıdır. Metod tekrarlayıcı bir yaklaşımla istenen aralıkta sonuca ulaşmaya çalışır. Algoritma herhangi bir varsayım yapmadan istenilen çözüm uzayında minimum GKS değerini bulmaya çalışır. Bu tarz varsayım yapmayan algoritmalar metasezgisel olarak adlandırılabilir. Metod klasik eniyileme algoritmalarının aksine amaç fonksiyonunun türevlenebilir olmasını gerektirmez. [Eberhart ve Kennedy, 1995]

PSO algoritmasında sürünün toplam parçacık sayısı girdi olarak işlenir. Her bir parçacığın bir hızı, konumu ve bulunduğu minimum değer vardır. Sürüdeki parçacıkların çözüm uzayındaki arama yönü küresel minimum ve yerel minimum değerlerine göre Tablo 1'de belirtilen girdilere göre değişir.

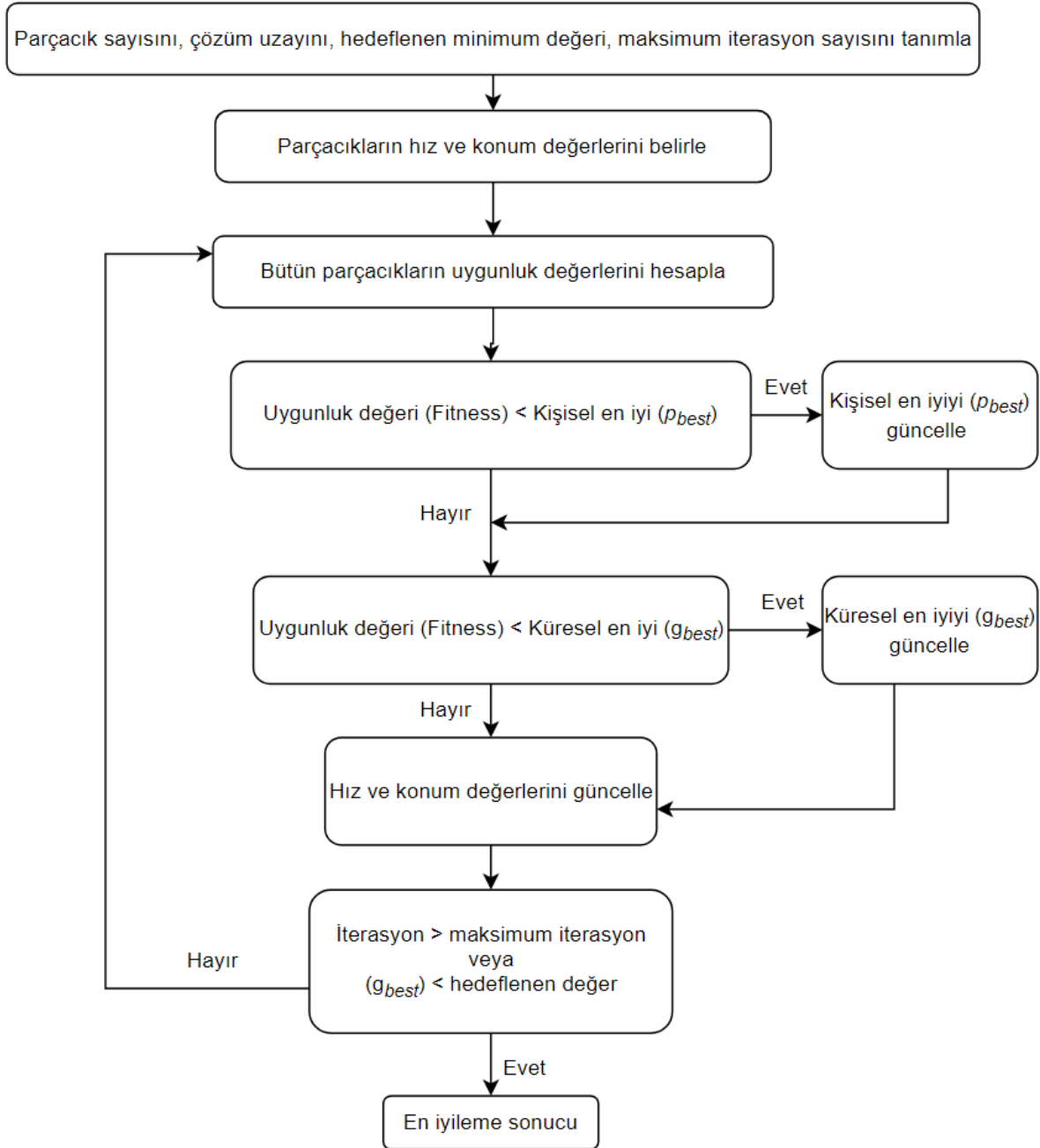
PSE algoritması akış diyagramı Şekil 3'deki gibidir. Her bir parçacığın hareketinde bir sonraki adım için önceki bulunduğu minimum değer etkilidir. Bir parçacığın minimum değere doğru olan hareketi Şekil 4'de görülmektedir.

Tablo 1: PSO parametreleri

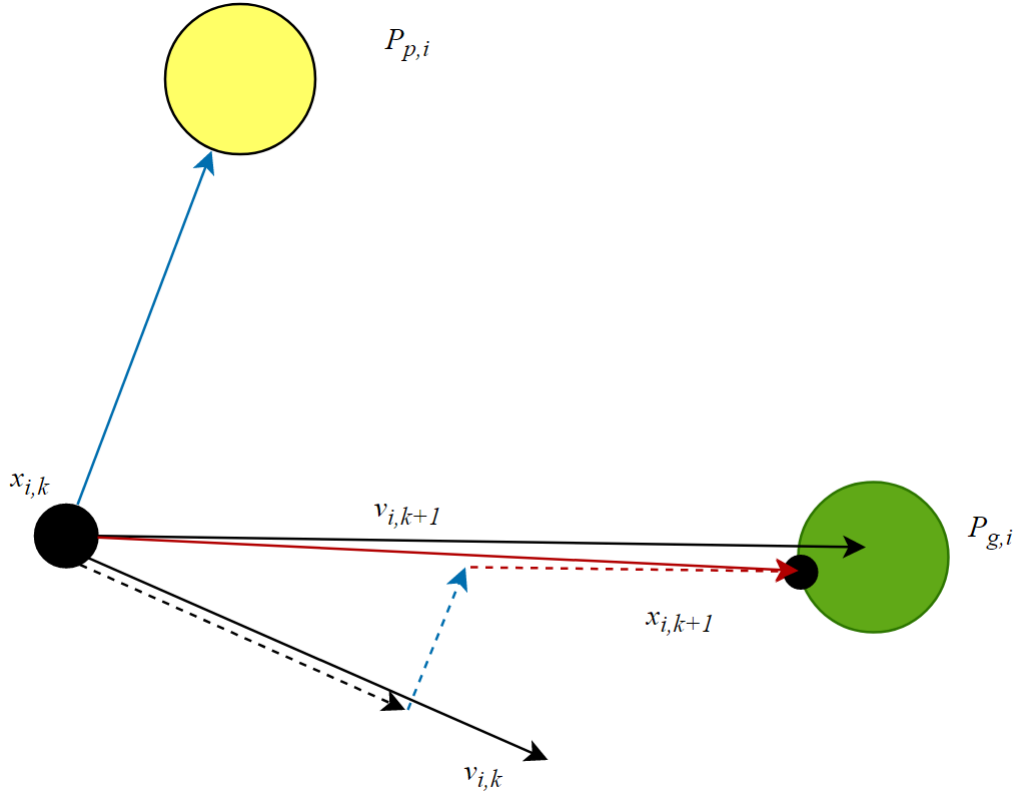
Parametre Adı	Parametre Değeri
Atalet Ağırlığı (w):	1
Atalet Ağırlığı Sönümlenme Oranı (wdamp):	0.98
Kişisel Öğrenme Katsayısı (c1):	1.05
Kişisel Öğrenme Katsayısı (c2):	1.1
Koşturma Sayısı	3
Koşturma Başına Yineleme Sayısı:	500
Sürü Nüfus Sayısı:	250

$$v_{i,k+1} = wv_{i,k} + c_1r_1(p_i - x_{i,k}) + c_2r_2(p_g - x_{i,k}), \quad (5)$$

$$x_{i,k+1} = x_{i,k} + v_{i,k+1}, \quad (6)$$



Şekil 3: Parçacık Sürü Eniyileme Algoritması Akış Diyagramı.



Şekil 4: Parçacık Sürü Optimizasyonu Parçacık Hareketleri.

Parçacığın bir sonraki adımdaki hızı ve konumu Deklem 5 ve 6 kullanılarak hesaplanır. Deklem 5'deki atalet ağırlığı  $w$  parçacığın önceki adımdaki hız vektörünün sonraki adımdaki hız vektörüne etkisini küçültür, büyütür veya sabit bırakır.  $x_{i,k}$  parçacığın konumunu ifade eder.  $p_i$  parçacığın kişisel olarak bulunduğu en iyi değeri ifade eder.  $p_g$  parçacıkların küresel olarak bulunduğu en iyi değeri ifade eder.  $c_1$  kişisel öğrenme katsayısıdır. Bu değer arttıkça parçacıklar kişisel minimum değerlerinin doğrultusuna daha çok yönelirler.  $c_2$  küresel öğrenme katsayısı arttıkça parçacıklar küresel olarak bulunan minimum değere daha hızlı yönelirler. Bu değerlerin bir dengede olması gerekmektedir aksi takdirde parçacıklar asıl küresel minimum değerine hiç ulaşmadan yerel bir minimuma yakınsayabilirler. Bu sebepten kişisel ve küresel öğrenme katsayısı birbirine yakın seçilmiştir. Bu hesaplamalar doğrultusunda bütün parçacıkların en son küresel minimumda toplanması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü parçacık sürü algoritması bazen yerel minimuma yakınsayabilir. Bunun önüne geçmek amacıyla Tablo 1'deki parametreleri değiştirerek tekrar çözüm yapılması önerilmektedir. [Eberhart ve Kennedy, 1995]

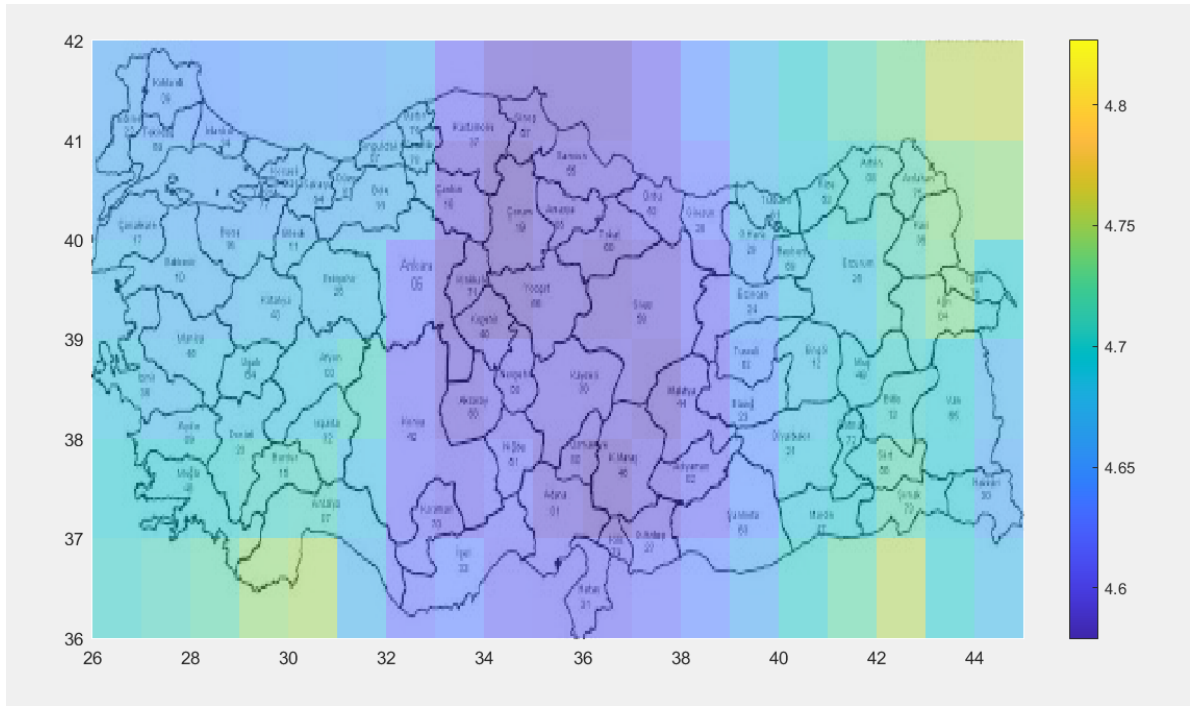
## UYGULAMALAR

Bu bölümde MATLAB üzerinden uydu iletmesi yapıp PSO algoritmasıyla minimum GKS değeri yani maksimum konum hassasiyetini veren uydu konfigürasyonu bulunacaktır. Toplamda 24 gözlemci noktası için GKS değeri hesaplanmıştır. Bu gözlemci noktaları Türkiye'nin bulunmuş olduğu 26, 45 doğu boylamları ve 36, 42 enlemleri arasında 3'er derecelik farklarla belirlenmiştir. Hesaplama yükünü ve süresini azaltmak adına 3 derecelik fark ile hesaplanma yapılmıştır. GKS hesaplaması yapılan bölgesel uydu navigasyonu konfigürasyonu 1 YSY ve 3 SBUS yörünge içermektedir. Değişken yörünge elemanlarının aralıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Değişken alınan klasik yörünge elemanları

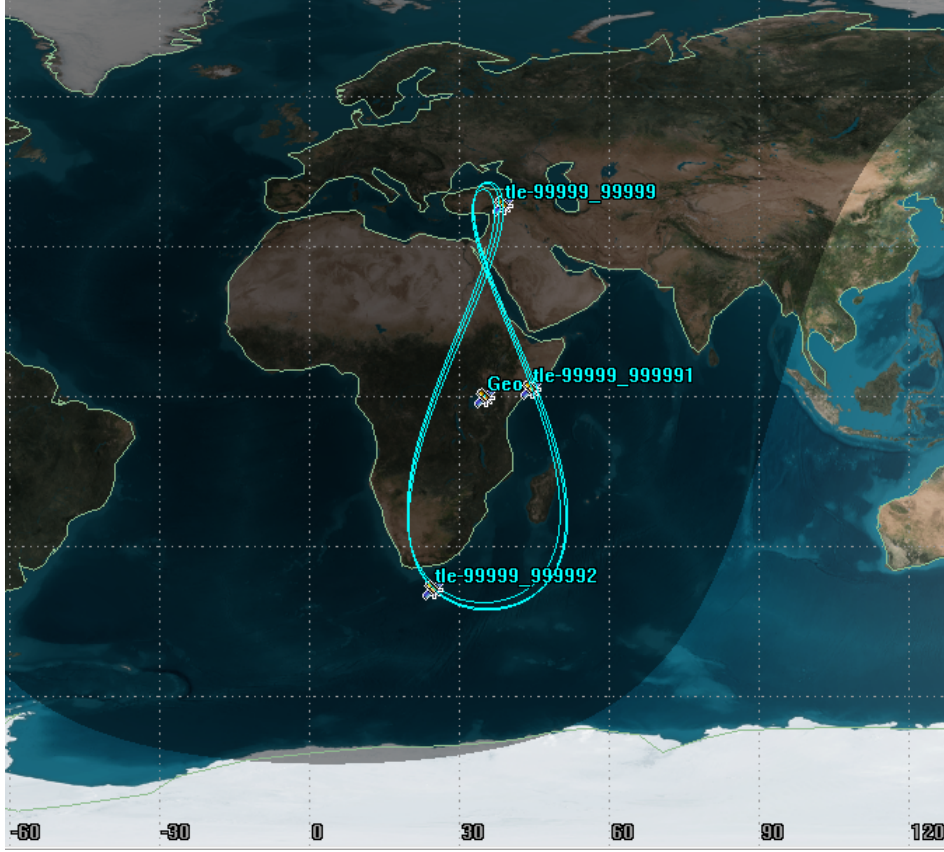
Yörünge Elemanı	Sınır Değerleri
e	0.07 - 0.1
i	40 - 60
$\Omega$	26 - 45

YSY uydusunun sadece yükseliş düğüm açısı 20 derecelik bir aralıkta değişken olarak alınmıştır. Böylelikle bu uydunun konumlanması gereken boylam bulunmaya çalışılmıştır. SBUS uydularının ise yörünge eğiklik ve basıklık değerleri değişken olarak alınmıştır. Basıklık değerlerinin aralığı 0.07 değerinden 0.1 değerine kadardır. SBUS yörünge eğikliği değerleri 40 ve 60 derece arasında değişken olarak alınmıştır. Basıklık değerinin ve yörünge eğikliği değerinin bu aralıkta olmasında [Başibüyük ve Diğerleri, 2020] ve [Büyük ve Diğerleri, 2019]'da yapılan hesaplamalar etkili olmuştur. Yapılan hesaplamalarda GKS değerlerinin bu sınırların dışında anlamsız yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bu değişkenler ve sınır şartları göz önünde bulundurularak PSE algoritması kullanılmış ve minimum GKS değeri için eniyileme yapılmıştır. Böylelikle Türkiye için maksimum konumlandırma hassasiyetini veren artırım navigasyon uyu sistemi bulunmaya çalışılmıştır.

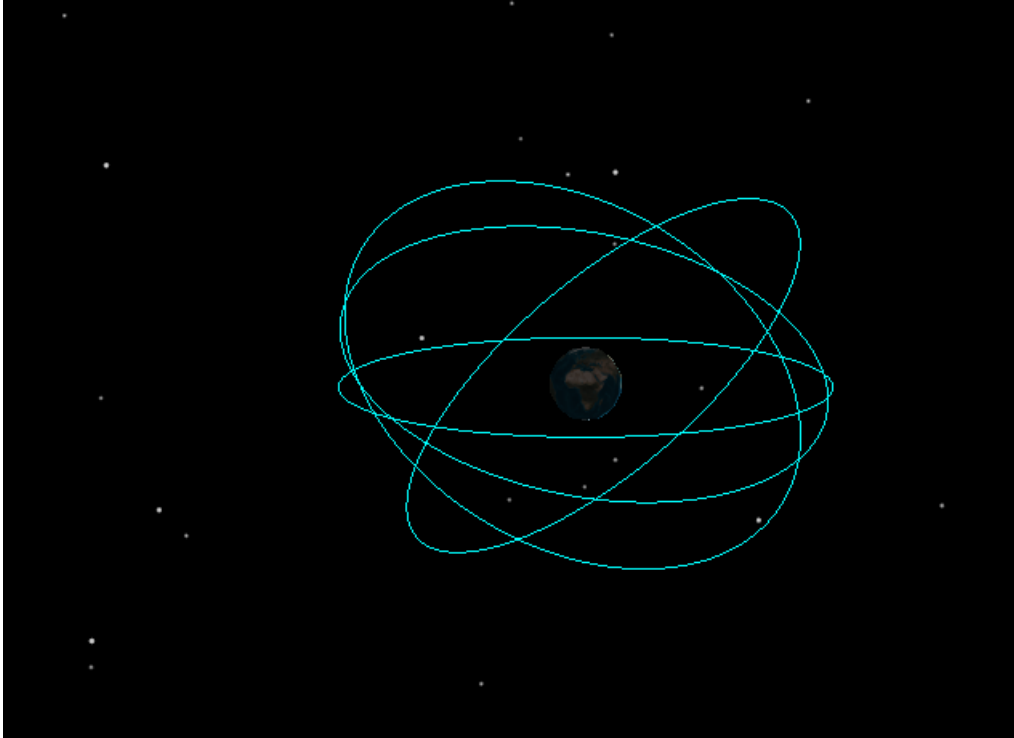


Şekil 5: Türkiye için Hesaplanılmış GKS Değerleri.

4 uyduluk bölgesel uyu navigasyon sistemi için yukarıda belirtilen sınır şartları için eniyileme çıktısının Türkiye için hesaplanılmış GKS değerlerinin haritası Şekil 5'te verilmiştir. Bu uyduların yer izleri Şekil 6'teki gibidir. Eniyileme sonucunun verildiği Tablo 3'teki SBUS'nin yörüngeleri Şekil 7'deki gibidir. YSU hariç SBU'lar kendi aralarında yer değiştirebilir. Başlangıç değerlerinden dolayı bu şekilde bir çıktı oluşmuştur. PSO algoritmasının eniyileme çıktıları Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçların sınır değerlerine yakınsamadığı görülebilir bu da sınır değerlerinin doğru seçildiği anlamına gelmektedir.



Şekil 6: Eniyileme sonucunun uydu yer izleri



Şekil 7: Bölgesel uyduların yörüngeleri



Tablo 3: eniyileme sonuçlarına göre klasik yörünge elemanları

Yörünge Elemanı	SBU1	SBU2	SBU3	YSU
e	0.0866	0.0892	0.0925	0.0001
i	42.8423	41.2984	42.5303	0.2238
RAAN	50.9696	176.3951	278.5926	258.3520

## SONUÇ

Seçilen gözlemci noktaları için hesaplanılan ortalama GKS değeri 4.6364 şeklindedir. Şekil 6 incelenecek olursa uyduların yer izlerinin direkt üst üste gelmediği görülmektedir. Sonraki çalışmalarda gözlemci noktası ve eniyileme değişkenlerinin artırılması hedeflenmektedir. Koşturulan MATLAB kodunun hesaplama yükü hafifletilerek GKS değeri hesaplanılan gözlemci noktalarının enlem ve boylam olarak 1 derecelik fark ile hesaplanması ve hassasiyetin artırılması hedeflenilmektedir.

## Kaynaklar

- Başibüyük, A. C., Tuğcular, U., Şişman, T. C., Tola C., Söken H. E., 2020. *Türkiye Bölgesel Uydu Navigasyon Sisteminin Bir Artırım Sistemi Olarak Tasarımı ve Eniyilemesi*, UHUK 2020, Ankara
- Bhatta, B., 2010. *Global Navigation Satellite Systems: Insights into GPS, Glonass, Galileo, Compass, and Others.*, B.S. Publications, Vol. 1
- Büyük S., Örengül Ö. U., Başibüyük, A. C., Tuğcular, U., Şişman, T. C., Tola C., 2019. *Preliminary Orbit Design for Turkish Regional Navigation Satellite System*, RAST 2019, İstanbul, 11-14 Haziran
- Choi, M., Won, D. H. ve Ahn, J...(2018) *Conceptual Satellite Orbit Design for Koeran Navigation Satellite System* Japan Soc. Aero. Space Sci., Vol. 61, s.12-20
- Eberhart R., and Kennedy J. 1995. *A new optimizer using particle swarm theory*, MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J., 2007. *Global Positioning System: Theory and Practice*, Springer-Verlag, Vol. 5
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Wasle, E., 2008. *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Springer-Verlag, Vol. 1
- GISGeography 2022, "GPS Accuracy: HDOP, PDOP, GDOP, Multipath & the Atmosphere"  
<https://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/> Erişim tarihi: 1 Ağustos 2022
- Kaplan, E. D. ve Hegarty, C. J., 2006. *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech House Publishers, Vol. 2, s.322-328
- Keyvani, F., Torabi, S. H...(2019) *Design and Simulation of Regional Navigation Constellation with Optimized Mean DOP based on Hybrid GEO and IGSO Satellites* International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, Vol. 6
- Langley, R.B., 1999. *Dilution of Precision*, GPS World, Mayıs
- Wu, F., Kubo, N. ve Yasuda, A., 2004. *Performance Evaluation of GPS Augmentation Using Quasi-Zenith Satellite System*, IEEE
- Xia, N., Zhi, Q., He, M., Hong, Y., ve Du, H...(2020) *A navigation satellite selection algorithm for optimized positioning based on Gibbs sampler* International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 16