

## ***Hava Savunma Sistemleri ve Güdümlü Hava-Yer Mühimmatlar Arasındaki Rekabete Analitik Bir Bakış***

***Dr. Feridun Tasdan***

***Western Illinois University***

### ***Giriş:***

Günümüze kadar konvansiyonel savaşlar öncelikle havada başlamakta, havada üstünlük kurulması sonrasında, savaşın geri kalan aşamalarında karşı tarafın önemli kara ve deniz hedeflerinin imha edilmesi şeklinde devam etmektedir. Gelecek 10-20 yıl için yapılan tahminlerde ise hava üstünlüğünün kazanılması zorlaşacağı gibi, artık modern ve entegre hava savunma sistemleriyle korunan hedeflere klasik yöntemler ile yaklaşılması eskisi kadar kolay olmayacaktır. Sadece savaş uçaklarının hedeflerine ulaşmalarının önlenmesi değil, uzun menzilli seyir füzeleri ve hatta JDAM gibi kısa menzilli mühimmatların hedeflerine ulaşmadan havada önleyebilecek sistemler geliştirilmektedir. Örneğin, GPS sinyallerinin karıştırılması ile JDAM benzer mühimmatların hassasietini düşürülmesi mümkün hale gelmiş veya namlulu uaksavarların zaman ayarlı havada paralanabilen akıllı mühimmatlar ile düşürülmesi mümkün hale gelmiştir. Savaş uçaklarının kendilerini korumak ve düşmanın iyi korunan hava sahasına penetre edebilmek için radara görünmezlik (stealth), elektronik destek ve karıştırma, veri füzyonu, etkin komuta kontrol imknlarına sahip olmaları gerekmektedir. Aynı şekilde Hassas Güdümlü Mühimmat (HGM) sınıfına koyacağımız uzun menzilli seyir füzeleri veya kısa menzilli (15km civarı) lazer güdümlü akıllı güdümlü mühimmatların dahi isleri artık çok zorlaşacak çünkü farklı sınıflardaki (kısaa- alçak-orta-uzun olarak sınıflandırabiliriz) hava savunma sistemlerinin (HSS) sensor ve füze teknolojideki gelişmeleri çok iyi takip ettikleri, daha modern ve yüksek vuruş yüzdesine sahip, entegre çalışabilen komuta kontrol sistemleri yönetiminde farklı tipteki hava hedeflerin etkili olabilecekleri görülmektedir.

ABD Hava Kuvvetleri (USAF)'nin 1990 1. Körfez ve daha sonra 2003 yılındaki 2. Körfez operasyonlarında HGM'lerin hedefe ulaşması olasılığı %95 üzerinde olduğu kabul edilerek her 1 hedefe yaklaşık 1.5 adet HGM kullanılmıştır. Hedef Sayısı/Sorti oranına bakıldığında ise 2. Dünya savaşında 1 kara hedefini imha etmek için yaklaşık 1000 bombardıman uçağı ve 9000 adet güdümsüz bomba kullanılmıştı. 1970'lerdeki Vietnam savaşında ise 1 kara hedefine yaklaşık 176 güdümsüz bomba ve yaklaşık 30 sorti yapılması gerekmişti. 1990'lara gelindiğinde artık GBU-10/12 serisi LGB (Lazer Güdümlü Bomba) yaygın kullanımı nedeniyle, 1 kara hedefine karşı 1 sorti ve 1 mühimmat kullanımı oranına ulaşılmıştır. Günümüzde ise GPS ve diğer güdüm teknolojilerindeki gelişmeye paralel, artık USAF'in B-2 veya diğer büyük hacimli bombardıman uçakları tarafından 80 farklı kara hedefine 1 sortide 80 adet mühimmat kullanılarak operasyonlar yapılabilir. Fakat 2020 ve sonrasında durum ne olacaktır? GPS ve güdüm sensorleri teknolojilerinin gelişmesiyle çok farklı modlarda güdüm teknikleri kullanan, 2000'li yıllara göre çok daha gelişmiş kısa veya uzun menzilli hassas güdümlü mühimmatların hedefler üzerindeki bu baskın etkisi sürecektir midir? Bunun cevabı savaş teknolojileri tek eksende gelişmemekte, benzer yüksek teknolojiler artık hava savunma sistemleri ve diğer pasif nleme sistemleri üzerinde yansımaktadır.

Günümüz ve gelecek hava-yer harektlerinde kullanılacak hassas güdümlü mühimmatların (HGM) hedefe vurulmadan varış olasılığının olumu gerçekten zor bir tahmindir. Birçok faktör başarılı bir vuruş ve hedef imhasını etkileyebilecektir. Örneğin, düşman tarafın elindeki hava savunma sisteminin (HSS) sahip olduğu kabiliyetler (reaksiyon suresi, radar, E/O sistemlerinin etkinliği, ECM'den etkilenmeme gibi), bu HSS'leri kullanan askerlerin eğitim ve hazırlık seviyeleri, teknik/bakım seviyesi gibi faktörler sayılabilir.

Ayrıca yukarıda kısa bir özeti yapılan günümüz gelişmiş ve halen geliştirilen hava savunma sistemlerinin; gelişmiş Gallium Nitride (GaN) yarı iletken teknolojisi kullanan AESA radarlara, yüksek hesaplama kabiliyetine sahip RF sinyal işlemciler, pasif IIR güdümlü kabiliyetine, ECM'ye karşı dirençli teknolojilere ve çok iyi şekilde entegre çalışabilen katmanlı radar ağına sahip olacaklarını öngörmek yanlış olmayacaktır. Artık hava soluyan hedefler yanında, düşük radar ekosuna sahip güdümlü mühimmatlara karşıda HSS'lerin etkinlikleri artarak devam edecektir. Örneğin, sürekli sahada aktif çalışan ve gerçek şartlarda denenme şansı bulan İsrail'in Demir Kubbe sisteminin başarılı önleme oranının %90 üzerinde olduğu söylenmektedir. Bu sistem Hizbullah tarafından atılan Katyusha tipi veya daha uzun menzilli 122mm roketleri direk vuruş yaparak önleyebilen bir sistemdir. Benzer bir sistemi başka bir ülke tarafında satın alınıp, modifiye edilerek, bir hava üssüne yapılacak saldırıda seyir füzeleri ve diğer hassas güdümlü mühimmatların önlenmesi içinde kullanılması mümkündür. Yukarıdaki sayfalarda bahsedilen Skyshield, C-RAM ve Pantsir S1 gibi nokta veya kısa-orta menzilli hava savunma sistem üreticileri ürünlerinin akıllı güdümlü mühimmatlar dahil tüm hava soluyan hedeflere karşı etkili oldukları ısrarla söylenmektedir. Bu sistemler tarafından korunan bir askeri hedefin imhası için 1 bir sorti veya 1 mühimmat yetmeyeceği artık askeri yetkililer ve Washington DC'deki bazı stratejik araştırma merkezleri tarafından da ifade edilmektedir.

### ***Hava Savunma Sistemleri (HSS) ve Hassas Güdümlü Mühimmatlar (HGM) arasında rekabete analitik bir bakış:***

Son yıllarda özellikle İsrail'in Suriye topraklarındaki tehdit olarak algıladığı yer hedeflerine düzenlediği hava saldırılarında farklı taktikler kullanarak yaptığı saldırılarda hedeflerin imhası için Delilah, Spice veya JDAM gibi mühimmat seçeneklerinin kullanıldığı görülmüştür. Keza ABD'nin Nisan 2017 tarihinde Shayrat Hava Üssü'ne yaptığı hava hücumunda ussun farklı noktadaki 20 civarındaki nokta hedefe toplam 59 adet Tomahawk seyir füzesi atılmıştı. 2018 yılındaki NATO destekli ABD liderliğinde Suriye'nin başka bir bölgesine yapılan hava hücumunda 109 adet Scalp, Tomahawk ve JASSM tipinde seyir füzesi saldırısı yapılmıştı. Bu saldırıların ortak noktası küçük sayılabilecek hedef sayısına rağmen çok fazla sayıda seyir füzesi kullanılmıştır. Eylül 2019 tarihinde Suudi Arabistan'ın Aramco şirketinin Riyad'ın batısındaki iki ayrı petrol rafineri tesisine yapılan ve toplamda 20-25 adet drone ve füzeden oluşan saldırı bölgeyi korumak ile görevli Suudi Patriot bataryasına rağmen tesislere ulaşarak önemli hasar vermiştir. Saldırıda kullanılan İsrail yapımı Harpy benzeri ama İran tarafından üretildiği düşünülen Afif isimli, piston motorlu, saldırı dronu ve yine İran yardımı ile Yemen'de üretildiği varsayılan mini turbojet motorlu Quds-1 isimli seyir füzesi olduğu anlaşılmaktadır.

Bu örneklerden yola çıkarak bir hedefin/hedef grubunun imhası için kaç adet HGM kullanılması gerekir sorusuna analitik yöntemler ile cevap bulmaya çalışalım. Burada matematiksel karşılaştırma ilk aşamada HGM ile HSS arasındaki ilişki zaman değişkeninden bağımsız olarak düşünülecektir. Ayrıca hava-hava savaşlarına girilmeden, uçak veya gemilerden HGM'lerin hedeflerine atıldığı varsayılmıştır.

Bir HSS'nin hava hedefini vurması/önlemesi olayı iki sonuçlu bir olasılık deneyi olarak düşünülebilir. Deneyin sonucunu, hava hedefinin imhası veya imha edilememesi sonucuna dayanarak HSS başarılı veya HSS başarısız olarak kabul edebiliriz. Örneğin, bir hava savunma sisteminin (tek bir mobil sistemi veya birkaç sistemden oluşan bir batarya yapısı olabilir) koruduğu hava sahasına girecek hava hedeflerini imhası/önlemesi olasılığını **%80** (yani HSS bataryasının hedefleri başarılı önleme olasılığı **ph=0.80**) kabul

edersek, başarısızlık durumunda,  $qh=1-ph=0.20$  olasılık ile HSS'nin hedefleri kaçırmaması durumu oluşacak ve hedefe atılan HGM'nin hedefine ulaşması %20 ihtimal ile mümkün olacaktır. Kısaca hedef noktayı koruyan HSS'nin başarısız olması, belirli sayıda HGM'nin hedefine ulaşması olarak kabul edilebilecektir.

Burada  $n$  adet HGM'nin hedeflenen bir bölgeye/noktaya ulaşması için birbirinden bağımsız şekilde bir savaş uçağı veya diğer yer veya deniz konulu sistemlerden atıldığını düşünelim.  $X$  değişkenini bir rastlantı değişkeni olarak, binom olasılık dağılımına sahip olduğunu ve başarı ile hedefine ulasan HGM sayısını gösterdiğini varsayalım. Burada binom olasılık dağılımının parametreleri sırasıyla  $n$  (birbirinden bağımsız atılan toplam HGM sayısını),  $ph$  (HSS başarılı önleme olasılığı, yani HGM başarısızlık olasılığı),  $qh=1-ph$  (her bir HGM'nin hedefe ulaşması olasılığı, HSS'nin başarısız olması olasılığı) olarak düşünebiliriz. Bu durumda binom olasılık dağılım fonksiyonu kullanarak aşağıdaki denklemi kurabiliriz. Burada  $P(X \geq 1)$  terimini az bir adet HGM'nin hedefe ulaşması olasılığı olduğunu düşünelim ve bu verileri aşağıdaki binomial dağılım fonksiyonuna uygulayalım,

$$P(X \geq 1) = \sum_{x=1}^n \binom{n}{x} (1-ph)^x ph^{n-x} = 1 - P(X = 0)$$

Sonuç olarak  $P(X \geq 1) = 1 - P(X = 0)$  kabul edebiliriz. İkinci aşamada  $P(X \geq 1)$  değerinin (en az bir HGM'nin başarı ile hedefine ulaşma olasılığı) minimum bir olasılık değerine eşit olmasını isteyebiliriz. Bu minimum olasılık değerinin " $pk$ " değeri olacağı varsayımını yaparsak, aşağıdaki denklemi kurabiliriz:

$$P(X \geq 1) = 1 - P(X = 0) \geq pk$$

Aşağıdaki gibi bir eşitsizlik kurarak, bu eşitsizliği  $n$  için çözelim:

$$P(X \geq 1) = 1 - P(X = 0) \geq pk$$

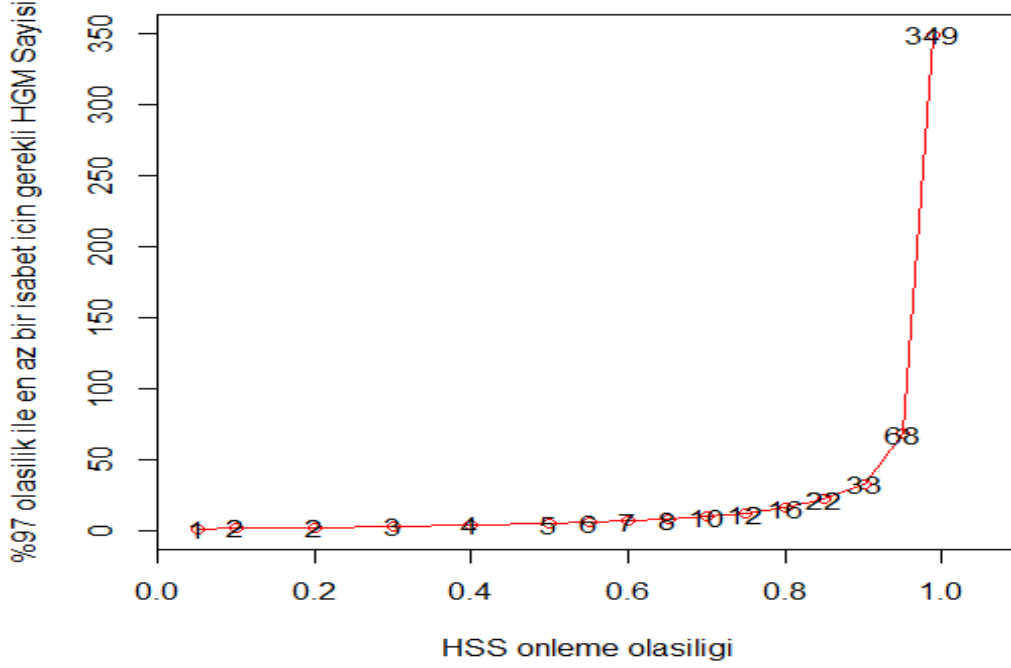
$$1 - P(X = 0) \geq pk$$

$$1 - ph^n \geq pk$$

$$1 - pk \geq (1-ph)^n ph^n$$

Bu eşitsizlikten yararlanarak,  $n$  (hedefe atılması gereken toplam HGM sayısı) değeri ile  $pk$  ve  $ph$  olasılıkları arasındaki ilişki  $n \leq \log(1-pk)/\log(ph)$  olarak bulunur. Yukarıdaki  $n$  değerinin anlamı şöyle açıklayabiliriz; en az bir tane HGM'nin hedefine ulaşması/varması olasılığı  $pk$  kabul edilirse ve aynı zamanda HSS'nin HGM'leri başarı ile önlemesi olasılığı  $ph$  olması durumunda, en az kaç adet HGM kullanılması gerektiğini gösterir.

### HSS Basari Orani ve Gerekli HGM Sayisi Iliskisi



Grafik 1'den anlaşılacağı üzere en az bir HGM'nin hedefe varış olasılığı  $pk=0.97$  kabul edersek ve HSS'nin de başarılı önleme ihtimalinin  $ph=0.50$  olması durumunda, en az  $n=5$  adet HGM kullanılması gerekecektir. Yine HSS'nin önleme başarısı  $ph=0.80$  kabul edilirse,  $n=16$  adet HGM'nin bir hedefe atılması lazım ki %97 ve üzeri ihtimal ile en az bir tane HGM hedefine ulaşabilsin. Aşağıdaki Grafik-1'de bu durum açıklanmaktadır. Görüldüğü gibi HSS'nin başarılı vuruş olasılığı ( $ph$ ) yükseldikçe, hedefin imhası için gerekli olan HGM sayısı exponansiyel bir artış göstermektedir. Görüldüğü gibi günümüz konvansiyonel savaşlarında entegre çalışan modern HSS'lerden oluşan bir savunma hattının aşılması hiç de kolay olmayacaktır.

Aşağıdaki Tablo-2'de olası  $Pk$  ve  $Ph$  değerleri birlikte düşünüldüğünde, en az bir adet HGM'nin hedefine ulaşması için gerekli toplam HGM atış ( $n$ ) matrisi tahmin edilmiştir.

	n=Gerekli HGM Sayisi	Pk: En az bir HGM'nin hedefine ulasmasi olasiligi											
		0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.97	0.99
Ph:	0.5 n=1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	5	7	
HSS	0.55	1	2	2	2	2	3	3	4	5	6	8	
Hedef	0.6	1	2	2	2	3	3	4	5	6	7	9	
Onleme	0.65	2	2	2	3	3	4	4	5	7	8	11	
Olasiligi	0.7	2	3	3	3	4	5	5	6	8	10	13	
	0.75	2	3	4	4	5	6	7	8	10	12	16	
	0.8	3	4	5	5	6	7	9	10	13	16	21	
	0.85	4	5	6	7	9	10	12	14	18	22	28	
	0.9	7	8	10	11	13	15	18	22	28	33	44	
	0.95	14	16	20	23	27	31	37	45	58	68	90	
	0.97	23	26	34	40	46	53	62	76	98	115	151	
	0.99	69	79	104	120	138	160	189	229	298	349	n=458	

Yukarıdaki matris ise en az bir HGM'nin hedefine ulaşması olasılığını **Ph** ve hava savunma sisteminin başarılı önleme olasılığını **Ph** iki ayrı değişken olarak kabul edilerek, hedefe en az bir isabet için atılması gerekli HGM sayısı (**n**) tahmin yapılmıştır. Örneğin, HSS'nin başarılı önleme olasılığı **Ph=0.75** kabul edildiğinde ve en az **Ph=0.95** olasılığı koşulunda en az bir HGM'nin hedefine ulaşması için en az **n=10** adet HGM gerekecektir. Maksimum limitlere bakıldığında HSS'nin önleme olasılığı %99 ve hedefe en az bir HGM'nin hedefine ulaşması olasılığı en az %99 olur ise yaklaşık **n=458** adet güdümlü mühimmatın kullanılması gerekmesi gibi çok yüksek bir sonuç çıkmaktadır. Her iki taraf için %99 başarının anlamı, olayın olması kesin gibidir ve bu yüzden en az bir isabet için çok yüksek miktarlarda HGM gerekmektedir.

Hedefin vurulması ve imhası için kaç adet HGM kullanılması gerektiği aynı zamanda sorti sayısını da belirleyecektir. Tabo-2'den anlaşılacağı üzere yüksek **ph** değerine sahip bir HSS, aynı zamanda yüksek sayıda HGM gerektirecektir. Örneğin, kriterlerimizi **ph=0.75** ve **pk=0.95** kabul edersek, en az 10 adet HGM atılması gerekecektir ki bunlardan en az bir tanesi hedefine ulaşabilsin. En hafif 500lb'lik GBU-12 LGB veya GBU-38 JDAM kullanılması durumunda, her uçağa 4 adet mühimmat yüklenmesi ve 2.5-3 sorti yapılması gerekecektir. Eğer SOM gibi uzun menzilli bir seyir füzesi sınıfında güdümlü mühimmat kullanmak istersek yaklaşık 5 F-16 uçağı sortisinin (her uçağın 2 adet SOM taşıması mümkündür) 1 hedefe karşı kullanılması anlamına gelir.

Tekrar belirtmekte gerekir ise bu makalenin amacı okuyuculara HGM ve HSS arasındaki analitik ilişkiyi göstermektir. Tabi ki gerçek bir savaşta HSS'nin başarı oranının %99 olarak sabit kalması imkânsızdır. Ayrıca bir bölgeyi korumak ile görevli HSS bataryasındaki atışa hazır füze sayısı hiçbir zaman 100-200 gibi rakamlara hiç ulaşmayacaktır. Gerçek şartlarda elektronik karıştırma, sahte hedefler, sürpriz saldırılar gibi farklı taktikler kullanılarak HSS'lerin başarı oranları daha düşük olabilecektir. Bu makalenin amacı yalın ve basitleştirilmiş haliyle HSS ve HGM dengesine analitik bir bakış getirmektir.

#### **HGM ve HSS İlişisine Kuyruk Teorisi ile Bakış:**

HGM (Hassas Güdümlü Mühimmat) atıŖı ve hedefine ulaŖmasını sürecini aslında bir marketin kasasına ödemeye giden bir mŖteri gibi dŖnebilirsiniz. HSS (Hava Savunma Sistemi) ise mŖterisine hizmet veren bir servis istasyonu veya bir market kasası gibi dŖnebilirsiniz. Hedefine doğru uğan HGM ile angajmana girerek bunları önlemeye ęalıŖan HSS arasındaki iliŖki zamana bağlı olduğu için skolastik bir sreğ (Markov Process) olarak kabul edilecek ve Kuyruk Teorisi (Queueing Theory) kullanılarak incelenecektir.

Bir hedef bölgesini koruyan  $s$  adet HSS sistemi olduğunu ( $s$  adet servis istasyonu) varsayalım. Her bir HSS'nin ortalama angajman oranı (servis oranı) her sistem için  $\mu$  parametresine sahip olduğunu kabul edebiliriz. HGM'lerin ortalama geliŖ oranını ise  $\lambda$  olarak kabul edebiliriz. Kuyruk disiplini ilk gelen ilk servisi alacak Ŗeklinde kabul ettiğimizde, ilk tespit edilen HGM ncelik alarak HSS angajmana baŖlayacaktır. HGM'lerin geliŖ sayısının dağılımını  $\lambda$  parametresi ile Poisson dağılımı uyduğunu ve HSS angajman oranı (servis rate) ise  $\mu$  parametresi ile Exponential dağılıma uyduğunu varsayalım. HGM'nin geliŖi doğum, HSS'nin hedefi vuruŖu ise lm Ŗeklinde dŖnrsek, basitleŖtirilmiŖ Ŗekliyle kuyruk modelimiz  $M/M/s$  koduyla tarif edilen  $s$  adet servis istasyonuna sahip doğum ve lm (Birth and Death) modeli Ŗeklinde tanımlanabilir. Burada formüllerin matematiksel detaylarını mümkün olduğunca basitleŖtirerek vereceğiz.

Kuyruk Teorisinde sistemin performansını belirleyen faktörlerden bir tanesi geliŖ oranı ile servis oranı arasındaki iliŖkidir. Bu oran trafik yoğunluğu olarak adlandırılan  $\rho = \lambda / (s * \mu)$  eŖitlięidir. Trafik yoğunluk ( $\rho$ ) oranının  $\rho > 1$  olması demek sistemin baŖ edebileceğinden fazla mŖterinin servis istasyonuna gelmesi anlamına gelir. HGM ve HSS iliŖkisinde ise  $\rho > 1$ 'in anlamı  $s$  adet atıŖ ünitesine sahip HSS'nin sature edilmesi (doyum noktasına ulaŖması) anlamına gelir. O zaman sorulması gereken soru kaç adet HGM, ne kadar sure zarfında hedef üzerinde (Time on Target) olması gerekir ki, HSS'lerin sature edilmesi mümkün olsun.  $\rho = \lambda / (s * \mu)$  formülünden anlaŖılacaęı üzere  $\lambda$ ,  $\mu$  ve  $s$  değerlerine bağlı olarak sistemin sature edilmesi mümkün olacaktır.

Örneğin, hedef bölgesinde 4 adet, bağımsız ęalıŖabilen, 360 derece angajman kabiliyetli HSS olduğunu ve her bir HSS'nin ortama angajman oranının (servis rate)  $\mu = 5$  (per/dk) olduğunu kabul edelim. Bu durumda  $\rho > 1$  olması için  $\lambda / (s * \mu) > 1$  ve sonuğta  $\lambda > (s * \mu) = 20$  olacaktır. Bunun anlamı HSS'nin sature olması (doyuma ulaŖması) için  $\lambda$  deęiŖkenin  $\lambda > 20$  koŖulu ile seğilerek, o sayıdaki HGM'nin aynı zaman diliminde (1 dk içinde) hedef üzerinde (ToT) olması gerekecektir. Kısaca harekt bölgesinde konumlanmış HSS yapılanması hakkında bilgi toplanması (ISR veya istihbarat imkanları ile) ile sistemlerin tiplerinin belirlenerek yapılacak harekt planlaması sırasında, operasyonun baŖarı için gerekli mühimmat tipleri ve sayısı ve elektronik harp gereksinimi gibi ihtiyağlar belirlenecektir.

AŖaęıdaki tabloda (Tablo-3), olası bir senaryoda bir hedef bölgesinin 4 adet Pantsir-S2 (veya TOR-M2) atıŖ nitesi tarafından korunduğunu varsayalım ve hedef bölgesine yapılacak HGM saldırısının Kuyruk Teorisi kullanarak analitik incelemesi yapılim. Kuyruk Teorisinde temel kural olan angajman menziline ilk giren HGM'ye beklemeden ilk angajmanın yapılacağını varsayalım (first come, first serve). Bu sistemi CLOS (command line of sight) güdüm prensibine göre ęalıŖan bir nokta hava savunma sistemi olduğundan, 360 derece kabiliyetli, 40km menzilli S bant arama radarına sahip olmasına rağmen, EHF bant 30km menzilli angajman radarı ve IR/TV güdüm sistemi 90 derecelik bir sektörde CLOS güdüm kabiliyetine sahiptir. Bu yüzden aynı anda farklı yönlerden gelebilecek HGM saldırısına karŖı (360 derece angajman kabiliyetine

sahip olmak için) için en az 4 adet Pantsir-S2 atış ünitesinin hedef bölgeyi koruduğunu düşünelim. Zaman birimi dakika olarak kabul edilecektir. Parametreler olarak  $\lambda=(5,10,15,20,25,30)$  hedef üzerinde olacak HGM oranlarını,  $\mu=8$  her bir Pantsir ünitesinin ortalama (per/dk) hedef angajman oranını,  $s=4$  Pantsir ünitesi sayısını,  $\rho = \lambda/(s * \mu)$  =angajman kapasitesi (yoğunluğu),  $Lq=E[Qq]$ =angajmana giriş öncesi kuyrukta bekleyen (henüz angajmana girilmeyen) HGM sayısını,  $Wq=E[Tq]$ =angajman için kuyruk/sırada bekleme süresini (saniye) gösterdiğini kabul edelim. Bu parametrelere tahmini değerler vererek **M/M/s** doğum-ölüm modeli (bu modelin matematiksel formülasyon kısmı kaynakçada bulunabilir) ve R yazılım programı kullanarak aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

$\lambda$	$\mu=8$	$\rho = \lambda/(s * \mu)$	$Lq=E[Qq]$	$Wq=E[Tq]$
5	8	0.156	0.000	0.006sn
10	8	0.312	0.019	0.114sn
15	8	0.468	0.127	0.510sn
20	8	0.625	0.533	1.602sn
25	8	0.781	2.011	4.824sn
30	8	0.938	12.975	25.950sn

Tablo-3'ten anlaşılacağı üzere 4 adet Pantsir-S2 ünitesi tarafından korunan bir hedefe yapılacak HGM saldırısında, hedefe ulaşabilmek için gereken HGM sayısı  $25 < \lambda < 30$  adetler arasında olması durumunda, angajman kapasitesi (yoğunluğu)  $0.781 < \rho < 0.938$  arasında olacaktır. Eğer  $\lambda=25$  olursa,  $Lq=2.011$  değerine ulaşılır, bunun anlamı henüz angajmana girilmemiş HGM sayıdır (kuyrukta angajman girilmeyi bekleyen HGM sayısı).  $Wq=4.8$  sn ise kuyrukta angajmana girilmesi için beklenen süreyi göstermektedir. Özellikle  $\lambda=30$  adet HGM atılması durumunda en az  $lq=12.95 \sim 13$  adet HGM'nin angajmana girilmek için kuyrukta sırasını bekleyeceği ve bu HGM'lerin ortalama bekleme süresinin yaklaşık  $Wq=25.95 \sim 26$  saniye olacağı görülmektedir. Doğal olarak henüz angajmana girilmeyen (kuyrukta bekleyen) HGM bir market müşterisi gibi havada beklemeyeceğinden birkaç saniye sonra hedefin imhası mümkün olacaktır. Eğer  $\lambda > 32$  olursa (32 adet ve yukarısı HGM kullanılması durumunda sistem) tamamen doyuma uğrayarak ( $\rho > 1$ ) tam sistem saturasyon olacaktır. Doğal olarak gerçek savaş koşulları çok farklıdır ve burada açıklanan teorik rakamlara ulaşılmayabilecektir. Örneğin, gerçek HGM yerine sahte hedefler kullanılması mümkün olabilecektir veya uzaktan yapılacak elektronik karıştırma sayesinde Panstir ünitelerinin anlık angajman kabiliyetleri sınırlanabilecektir. Örneğin, Pantsir'in dakikadaki angajman oranı 2-3 adede düşürülürse ( $\mu=2$  gibi), çok daha az sayıda HGM (veya sahte hedef) kullanılarak sistem doyum noktasına çok az bir HGM atışı ile ulaşabilir. Özellikle İsrail'in son yıllarda Suriye'de operasyonlarında Pantsir sistemine karşı başarılı olmasında muhtemelen düşük RCS sahip Delilah gibi mühimmat kullanımı, şaşırtmak için sahte hedef kullanımı, elektronik karıştırma ve hiç beklenmedik anda sürpriz saldırı gibi savaş taktiklerini kullanmasının rolü olabilir.

### **Sonuç ve Öneriler:**

Barış zamanında hasım ülkelerin sahip olduğu hava savunma ve diğer pasif önleme sistemlerinin varlığı ve modellerinin tespit edilerek, bu sistemlere tedbirlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Kısaca çok iyi bir istihbarat ağına sahip olunması ve karşı tarafın elindeki HSS'lerin etkinliğini (önleme olasılıklarını düşürülmesi) düşürülmesi için gelişmiş EH sistemlerine sahip olunması gerekmektedir. Bu EH sistemleri sinyal istihbaratı amaçlı uçak üzeri uzun menzili elektronik destek ve taarruz sistemleri, kara/gemi konuşlu elektronik destek/taarruz sistemleri veya karıştırma amaçlı elektronik karşı atak yöntemleri kullanılmasıdır. Yukarıdaki matrise geri dönersek, hava savunma sisteminin başarılı önleme olasılığı %75'ten %50'ye düşürdüğümüz, %95 olasılık ile en az bir isabet için gerekli HGM sayısı 10 yerine 4 adede düşmektedir. Keza sadece EH sistemleri değil, ABD ve İsrail gibi ülkelerin çok kullandığı uçaklardan bırakılan sahte hedefler (ABD'nin ADM-160 MALD, İsrail'in ITALD gibi) ile hasım HSS'lerinin gerçek hedef yerine sahte hedeflere önleme füze ve mühimmatlarını harcamalarını sağlayarak, hemen peşinden gelecek ikinci dalgada gerçek mühimmatlar kullanılabilir.

SOM gibi seyir füzelerinin radar izinin mümkün olduğunca düşürülmesi için uygun geometride yüzeylere sahip olmaları, RAM boya kullanılarak radar izlerini azaltılması da düşünülebilir. Tam kompozit malzemeden üretilmeleri radar yansımalarının düşürülmesi açısından önemli olabilir. İkinci olarak SOM gibi gelişmiş güdüm sistemlerine sahip seyir füzelerinin, sürü mantığı (swarm) ile uçmaları, füzeler arası haberleşme (networking) ve birbirinin sağlık durumunu (füzenin uçuş bilgileri gibi) gözlemleyerek yarı yolda rota değiştirerek yakıtı biten veya düşen/düşürülen SOM füzelerini yerine başkasının alabileceği, vurulan hedef yerine, vurulmayan yakındaki (füzenin hala yakıtı varsa) başka bir hedefe otomatik yönlenebilecek şekilde akıllı uçuş yönetim sistemlerine sahip olmaları önerilebilir.

ABD ve İsrail gibi ülkeler farklı boyutlarda güdümlü mühimmat seçeneklerini geliştirirken, küçük çaplı akıllı güdümlü mühimmatlara önem vermektedir. USAF ve USNAVY için özel geliştirilen SDB (Small Diameter Bomb) GBU-39 (SDB-I) ve GBU-53 (SDB-II) tipindeki 120kg ağırlığındaki iki veya üç farklı güdüm seçenekleri kullanan mühimmatlara yatırım yapmaktadır. Bu mühimmatlar sahip oldukları kanat ve güdüm sistemleri sayesinde orta-yüksek irtifalarda bırakıldıklarında 100km civarında menzile sahiplerdir. BRU-61 tipinde mühimmat salan (ejector rack) ünitesine 4'er adet yüklenebilmektedir. Bir F-16 uçağı iki adet BRU-61 mühimmat salan ünitesi ile toplamda 8 adet SDB-I/II mühimmatı taşıyabilmektedir. İsrail ise benzer bir yaklaşım ile Spice mühimmat ailesinden çoklu güdüm modlu (INS/GPS ve E/O güdüm) Spice250 mühimmatını geliştirmiştir. Bu mühimmat 250lb (122kg) ağırlığı sayesinde bir F-16 tarafından en az 8 adet taşınması mümkündür.

Türkiye'de bu gelişmelere paralel olarak ABD'nin GBU-39 SDB-I mühimmatı benzeri balistik ve güdüm özelliklerine sahip, düşük çaplı/ağırlıklı mühimmatını geliştirmektedir. Aselsan/SAGE tarafından ortak geliştirilen bu mühimmat aynen ABD üretimi GBU-39 SDB-I gibi kanat kiti takılı olarak, 125kg civarında ağırlığa ve yüksek irtifalardan atıldığında 100km civarında menzile sahip olacaktır. SDB kullanımının önemli bir artışı tek sortide yüksek miktarda mühimmat taşınmasına olanak sağlaması ve tek seferde çok hedef angajmana girilebilmesini sağlamasıdır.

Diğer yandan operasyonel seviyede ürün çıkarmak için araştırma geliştirme çalışmaları devam eden swarm (sürü) İHA ve akıllı mühimmat sürülerinin dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Bu teknolojinin



uygulamaya geçmesi ile artık klasik anlamda füze/namlulu sistemler ile hava savunması yapılamayacaktır. HSS'lerin de sürü saldırılarına karşı lazer veya elektro-manyetik top teknolojileri kullanan yüksek enerjili sistemleri adapte etmesi kaçınılmaz olacaktır.

Diğer yandan barış zamanında HGM stokları belirlenirken, imha edilmesi gerekli hedeflerin önceliği, tipi (sert hedef, yumuşak hedef veya çok iyi korunan hedefler gibi) uygun ve farklı tiplerde (kısa, orta veya çok uzun menzilli) HGM'lerin sayısal olarak dengeli şekilde envantere bulundurulmasında fayda olacağı görülmektedir. Örneğin, çok miktarda LGB/JDAM tipinde kısa menzilli (20km altı) mühimmat bulunurken, belli bir sayıda orta menzilli (20-100km) ikili/ikisiz HGM'ye sahip olunması ve son olarak çok yüksek değerdeki, çok katmanlı HSS ile korunan kritik hedeflerin vurulması içinde yeterli sayıda uzun menzilli (100km üzeri) seyir füzesine (uçaktan veya Kara/Deniz üzeri atılabilir) sahip olunması gerekecektir.

***Kaynakça (Referanslar):***

1. Models for Probability and Statistical Inference, Theory and Applications. James Stapleton, Wiley, 2008.
2. Queueing Theory, Modelling and Analysis in Applications. Narayan Bhat, Birkhauser, 2008.
3. Introduction to Operations Research. Hillier and Lieberman, Holden-Day, 1980.
4. Jane's Weapons: Air-Launched 2016/2017: Yearbook, Robert Hewson.
5. Jane's Land Warfare Platforms: Artillery Air Defence 2017/2018: Yearbook, James O'Halloran.
6. Dr. Feridun Tasdan, Stratejist Dergisi, Sayı 22, Mayıs 2019.
7. Meet the Quids-1, Arms Control Wonk, <https://www.armscontrolwonk.com/archive/1208062/meet-the-quids-1/>