

UOT:004.89

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.004

HAVA GƏMİSİNİN UZUNUNA HƏRƏKƏTİNİN İDARƏ OLUNMASI SİSTEMİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

İsmayilov İ.M.
Milli Aviasiya Akademiyası

Müasir dövrdə bir mürəkkəb texniki sistem kimi təyyarələrin uçuş dinamikası, dayanıqlıq, idarə olunma oblastındakı tədqiqatlar, yüksək avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin işlənilməsi bu proseslərin elmi-metodiki müşayiəti olmadan, modelləşdirilmədən istifadə etmədən mümkün deyil. Bunu nəzərə alaraq məqalədə MATLAB/Simulink proqram vasitələrindən istifadə edərək təyyarənin uzununa hərəkətinin dinamikasının imitasiyalı Simulink-modelinin formalaşdırılması metodikası təqdim edilmiş, hava gəmisinin idarə olunmasının müxtəlif aspektlərdə modelləşdirilməsi məsələlərinə baxılmış, modelin tərkibinə daxil olan bütün komponentlərin eksperimental olaraq daha dəqiq təyin edilməsi, o cümlədən model üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən tənzimləyicilərin modelləşdirilməsi və onların müxtəlif yanaşmalarda tədqiqi məsələləri göstərilmiş, qeyri-səlis tənzimləyici üçün sürət və hündürlük giriş parametrlərinə uyğun olaraq çıxış parametrləri - tanqaj bucağı və dartı avtomatının parametrlərinin hesablanma metodikası verilmişdir.

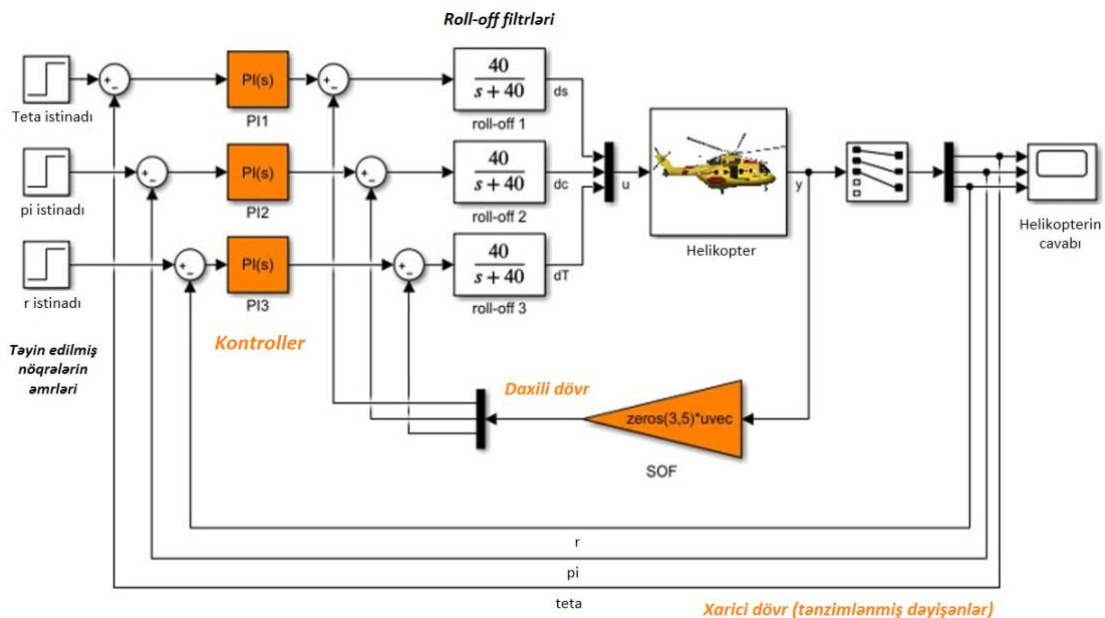
Açar sözlər: *aviasiya sistemi, təyyarənin uçuş dinamikası, uçuş informasiyasının monitorinqi, təyyarənin idarə olunması sistemləri, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi, modelləşdirmənin əsasları, Matlab/Simulink proqram vasitələri, qeyri-səlis məntiq.*

Giriş. Müasir texniki qurğuların və sistemlərin layihələndirilməsinin mühüm və ayrılmaz mərhələsi modelləşdirmədir. Müasir texniki sistemlərin xüsusiyyətlərindən biri onların fiziki qeyri-bircinsliyi, yəni onların tərkibində müxtəlif fiziki təbiətli elementlərin olmasıdır. Məsələn, mexatronikanın formalaşdırılmasına öz zamanında mexanika və elektronikanı birləşdirən bir elm kimi elektromexanikanın meydana gəlməsinə səbəb oldu. Mikroelektronikanın və mikroprosessor texnikasının inkişafı mexaniki qurğuların hərəkəti ilə bağlı olan texniki sistemlərin funksional imkanlarında yeni keyfiyyət sıçrayışı üçün şərait yaratdı və bu son nəticədə yeni elmin yaranmasına gətirdi [1]. Analoji olaraq nəzərə alsaq ki, texniki sistem mexaniki, elektriki və kompüter hissələrinin sinergetik birləşdirilməsidir, o zaman modelləşdirmə vasitələri bu hissələrin vahid metodoloji əsasda birləşdirilməsinə yönəldilməli və çoxaspektli modellərin qurulmasına, həmçinin onların tədqiqinə imkan verməlidir.

Bir mürəkkəb texniki sistem kimi təyyarələrin uçuş dinamikası, dayanıqlıq, idarə olunma oblastındakı tədqiqatlar, yüksək avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin işlənilməsi bu proseslərin elmi-metodiki müşayiəti olmadan, modelləşdirilmədən istifadə etmədən mümkün deyil. Uçuşun dinamikası oblastında bir sıra məsələlər öyrənilən proseslərin və obyektlərin riyazi modellərini əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirən buraxıla bilən istisnalar və mülahizələr hesabına həll edilə bilənlər [2]. Lakin təyyarələrin aerodinamik xarakteristikalarının və hərəkətin kinematik parametrlərinin geniş diapazonunda istismar olunan güc qurğusunun xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi, idarəetmə sistemlərinin parametrlərinin mürəkkəbliyi, pilotun (ekipajın) real atmosfer şəraitində təyyarənin idarə olunmasının müxtəlif məqsəd məsələlərinin imitasiya modelləşdirilməsi prosesində iştirakının zəruriliyi “təmiz” riyazi modellərdən istifadəni qeyri-mümkün edir və xüsusi proqram vasitələrindən istifadə etməklə tədqiqatların aparılmasının yarımənən formatını tələb edir. Dinamik sistemlərin, o cümlədən uçuş aparatlarının uçuş dinamikasının modelləşdirilməsi üçün daha geniş yayılmış, məlum Matlab&Simulink tətbiqi proqram kompleksindən istifadə daha məqsəduyğun hesab edilir [3-4].

Məsələnin qoyuluşu. Simulink paketində xətti sistemlərin modelləşdirilməsi metodlarının, idarəetmə sistemlərinin modellərinin qurulmasının və redaktə olunmasının tədqiqi, o cümlədən hava gəmisinin kurs üzrə idarə olunması sisteminin strukturunun təyin edilməsi və onun modelləşdirilməsi, sistemdə keçid proseslərinin, həmçinin PID tənzimləyicisinin köməyi ilə daimi həyəcanların kompensasiya metodlarının tədqiqi (giriş və çıxış parametrlərinin sayının müəyyən edilməsi, idarəetmə sisteminin struktur sxeminin yaradılması), idarəetmə modelinin realizə olunmasıdır.

Məsələnin həlli. Təyyarənin uzununa hərəkəti üçün uçuşun idarə olunması zamanı nəzərə almaq lazımdır ki, təyyarənin və icra mexanizminin davranışının birinci tərtibli xətti aproksimasiyaları uçuşun idarə olunmasının analoq sxemi ilə bağlıdır. Bu sxem joystikin addımına təyyarənin tanqaja görə vəziyyəti üçün verilmiş nöqtə qismində pilotun əmrindən istifadə edir. O həmçinin komandaların təyini üçün təyyarənin tanqaj bucağından və tanqaj sürətindən istifadə edir. Uçuş aparatının idarə olunmasının modelləşdirilməsinin ümumi təsəvvürü üçün şəkil1-də Simulinkdə helikopterin idarə olunması sisteminin modelləşdirilməsinin ümumi görünüşü təsvir edilmişdir. Sistem daxili konturdan (göy rəng) və xarici konturdan (narıncı rəng) ibarətdir [5-6].



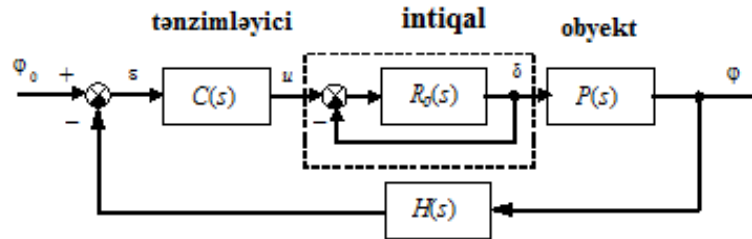
Şəkil 1. Simulinkdə idarəolunma sistemi

Məlumdur ki, idarəetmə sistemləri üzrə mühəndislərə idarəetmə sisteminin sazlanması mürəkkəb məsələ kimi görünə bilər, əgər əl ilə sazlamaya və təcrübəyə ümid etmək olarsa. Bu xüsusilə bir neçə əks əlaqə konturlarına və ya PID kaskad konturları kimi sazlanan komponentlərə malik idarəetmə sistemləri üçün xüsusilə aktualdır. Ənənəvi olaraq mühəndislər bir elementi və ya bir idarəetmə konturunu sazlayırlar. Bundan başqa bu metod interaktiv və çox zəhmət tələb edən metoddur. O təcrübə tələb edir, onun mənimsənilməsində yeni mühəndislər çətinlik çəkirlər və optimal sonuncu layihəyə zamanət vermir.

Şəkil1-də göstərilən idarəetmə sistemi timsalında məhsuldarlıq və etibarlılığa qoyulan standart tələblər nəzərə alınaraq tənzimləyicinin (kontrollerin) bütün parametrlərinin eyni zamanda sazlanmasının sistematik və avtomatlaşdırılmış metodu təsvir edilmişdir. Helikopterin dinamikası "Helikopter" blokunda modelləşdirilir. Uçuşun idarəetmə sistemi θ (tanqaj bucağı), φ (kren bucağı) və p , q və r (kren, tanqaj və vurnuxma sürətləri) ölçmələrindən istifadə etməklə ds , dc və dT əməllərini hasil edir. Kontroller iki əks əlaqə konturlarından ibarətdir. Daxili kontur (statik çıxış əks əlaqə bloku, şəkildə açıq göy rəngdə) sabitlik və ayrılmanın yüksəldilməsini təmin edir. Xarici kontur (PI, şəkildə narıncı rəngdə) təyin nöqtəsinin izlənilməsinin arzuolunan məhsuldarlığını təmin edir [7-8].

Simulink paketində idarəetmə sistemlərinin modelləşdirilməsində modelin parametrlərinin dəyişdirilməsini, keçid proseslərinin qurulmasını, həmçinin PID tənzimləyicisinin köməyi ilə daimi həyəcanların kompensasiyası metodlarını tədqiq etmək üçün avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin müvafiq müddəalarından istifadə edək [9].

Hava gəmisinin kurs üzrə idarə olunması sisteminin struktur sxemi şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. Hava gəmisinin kursda stabilləşdirmə sisteminin struktur sxemi

Gəminin hərəkəti aşağıdakı ötürmə funksiyası şəklində xətti riyazi modellə təsvir olunur

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)} \quad (1)$$

burada $K = 0.0694$ rad/san, $T_s = 18.2$ san.

Gəminin vurnuxmasını təsvir edən xətti riyazi model aşağıdakı şəkildə olur:

$$\varphi' = \omega_y; \quad \omega' = -\omega_y / T_s + K\delta / T_s. \quad (2)$$

Burada φ - vurnuxma bucağı (verilmiş kursdan meyl bucağı), ω_y – şaquli ox ətrafında fırlanmanın bucaq sürəti, δ - şaquli sükanın tarazlıq vəziyyətinə nisbətən dönmə bucağı, T_s – zaman sabiti, K – rad/san ölçmə vahidinə malik sabit əmsaldır.

Sükanın dönmə bucağından vurnuxma bucağına olan ötürmə funksiyası aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)} \quad (3)$$

İntiqaal (sükan maşını) təqribi olaraq vahid mənfi əks əlaqə ilə əhatə olunmuş inteqrallayıcı manqa kimi modelləşdirilir. Beləliklə onun ötürmə funksiyası aşağıdakı kimi olur

$$R(s) = \frac{1}{T_R s + 1} \quad (4)$$

burada $T_R = 2$ san.

Vurnuxma bucağının ölçülməsi üçün girokompassdan istifadə olunur. Bu girokompassın riyazi modeli ötürmə funksiyalı birinci tərtib aperiodik manqa şəklində yazılır.

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1} \quad (5)$$

burada $T_{os} = 6$ san.

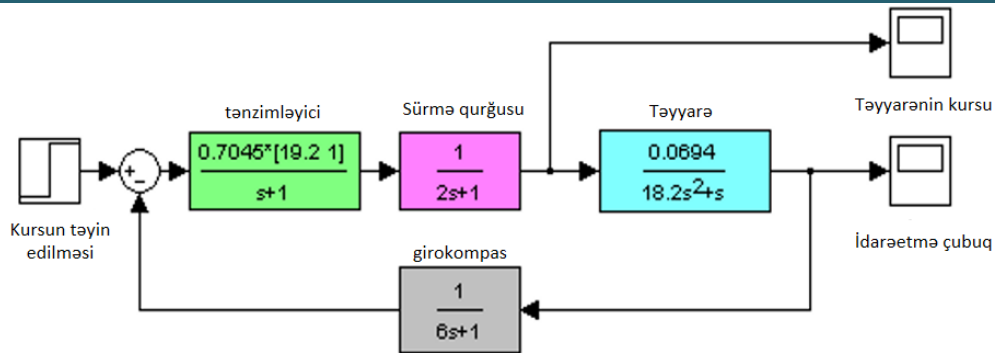
PD-tənzimləyicili sistemin tədqiqi.

Minimal müddətli keçid prosesini təmin edən PD- tənzimləyicisinin ötürmə funksiyası:

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) \quad (6)$$

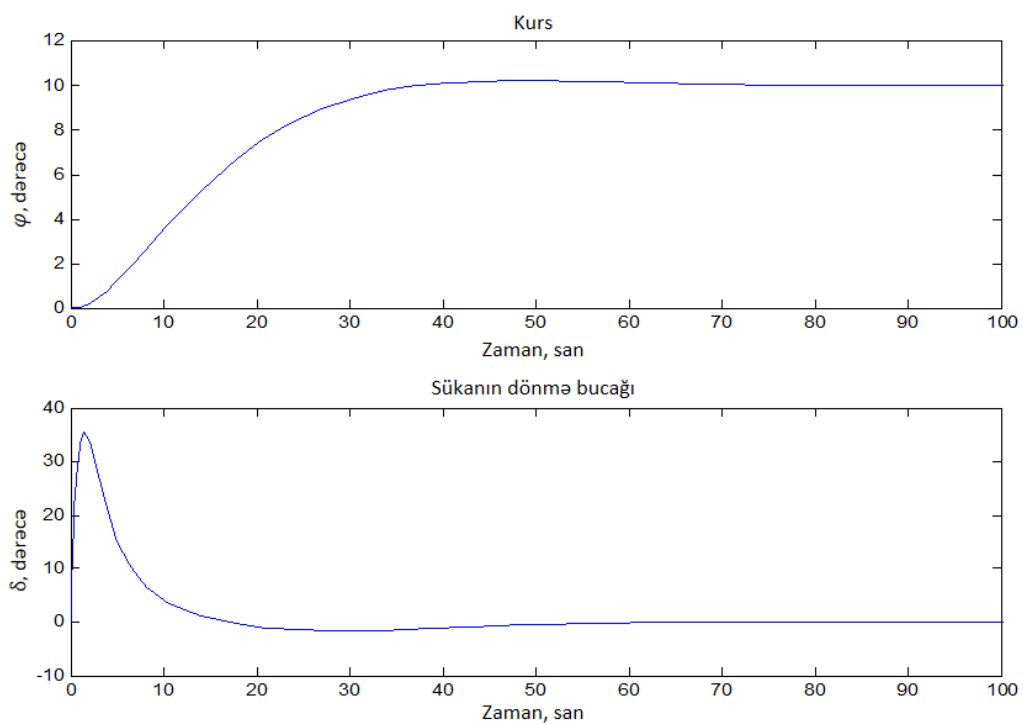
burada $K_c = 0.7045$, $T_s = 18.2$ san, $T_v = 1$ san.

PD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 3-də verilmişdir.



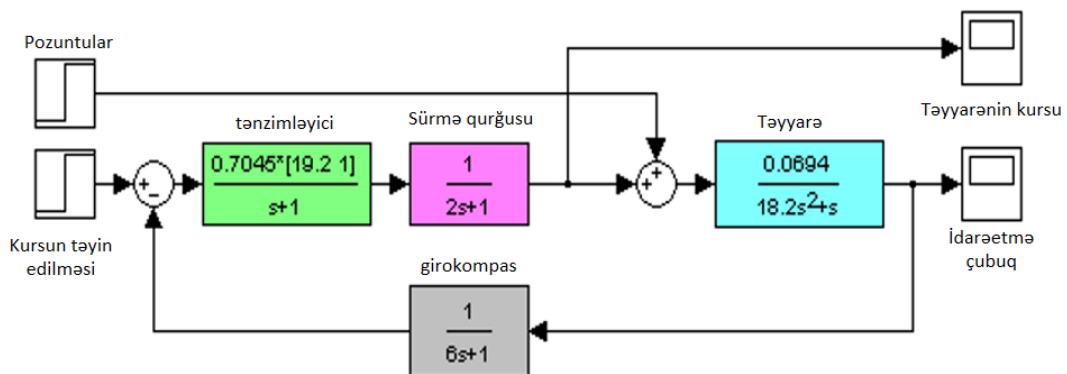
Şəkil 3. PD-tənzimləyicili sistemin modeli

Kursun 10 dərəcə dəyişməsində PD-tənzimləyicili sistemdə keçid prosesləri şəkil 4-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 4. PD-tənzimləyicili sistemdə keçid prosesləri

Xarici təsir nəzərə alınmaqla PD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 5-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 5. Xarici təsir nəzərə alınmaqla PD-tənzimləyicili sistemin modeli.

PD-tənzimləyicili sistem üçün həyəcana görə ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.003813 s^3 + 0.006355 s^2 + 0.00286 s + 0.0003178}{s^5 + 1.722 s^4 + 0.8416 s^3 + 0.1245 s^2 + 0.008877 s + 0.0002239}$$

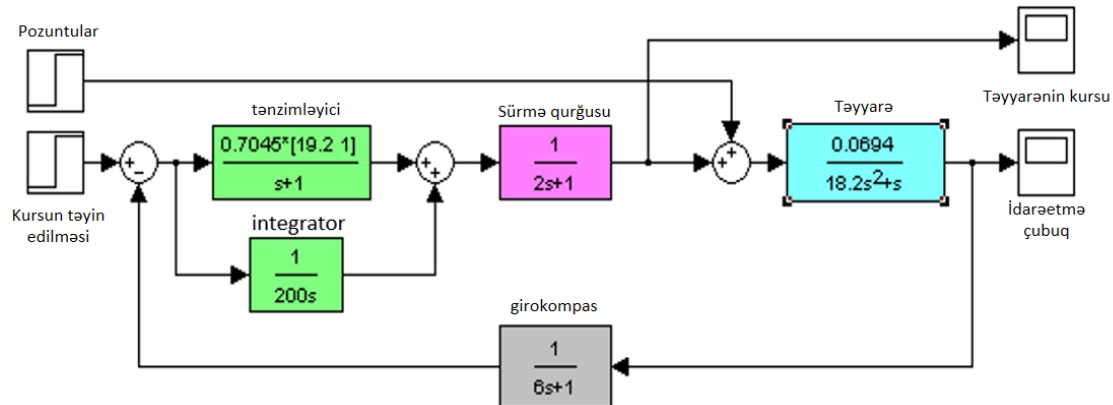
PİD-tənzimləyicili sistemin tədqiqi.

PİD-tənzimləyicisindən istifadə zamanı isə sistemdə keçid prosesləri aşağıdakı kimi tədqiq olunurlar:

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s} \quad (7)$$

burada $K_c = 0.7045$, $T_s = 18.2$ san, $T_v = 1$ san, $T_I = 200$ san.

Xarici həyəcanlar nəzərə alınmaqla PİD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 6-da verilmişdir.

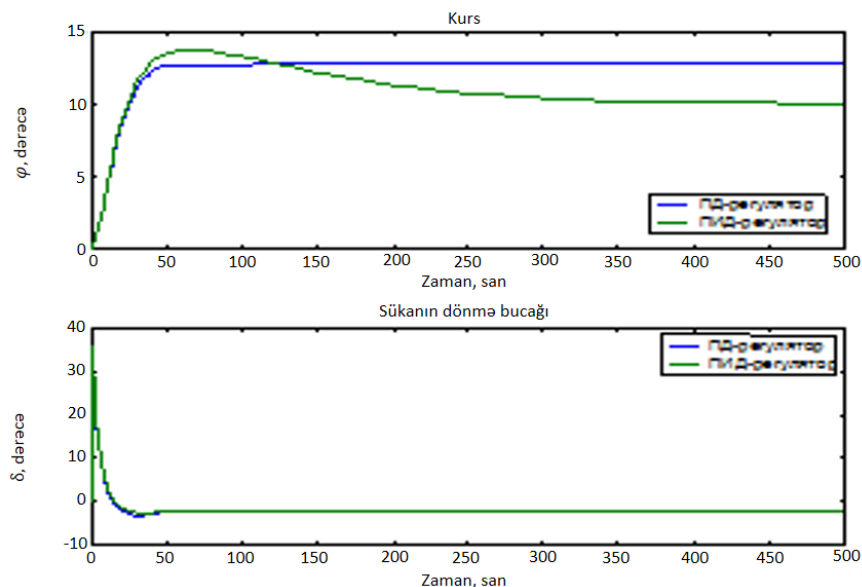


Şəkil 6. Xarici həyəcanlar nəzərə alınmaqla PİD-tənzimləyicili sistemin modeli

PİD-tənzimləyicili sistem üçün həyəcana görə ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.003813 s^4 + 0.006355 s^3 + 0.00286 s^2 + 0.0003178 s}{s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.008877 s^2 + 0.000225 s + 1.589e-006}$$

PD və PİD-tənzimləyici sistemlərdə keçid prosesləri şəkil 7-də təsvir edilmişlər.



Şəkil 7. PD və PİD-tənzimləyici sistemlərdə keçid prosesləri

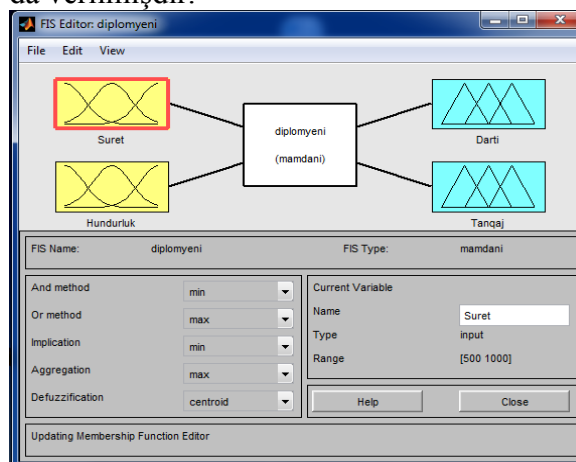
PİD-tənzimləyicili açıq sistemin ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.004298 s^2 + 0.000225 s + 1.589e-006}{s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.004579 s^2}$$

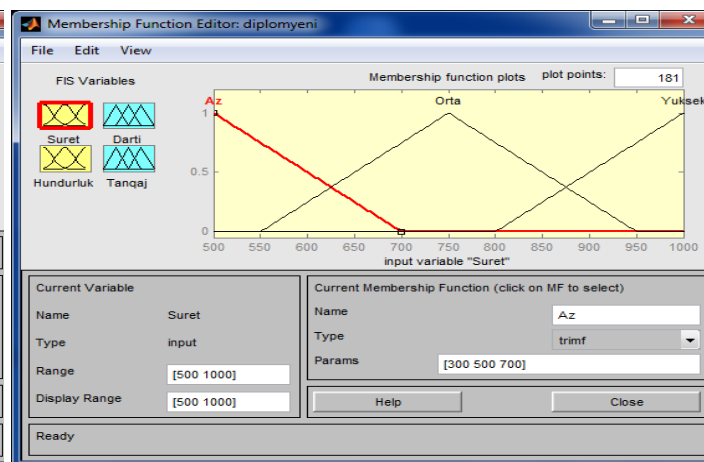
Amplituda görə dayanıqlıq ehtiyatı $d g_m = 18.4 \text{ dB}$, fazaya görə $\varphi_m = 63^\circ$, ehtiyatlar kifayət qədərdir.

Qeyri-səlis tənzimləyicinin modelləşdirilməsi.

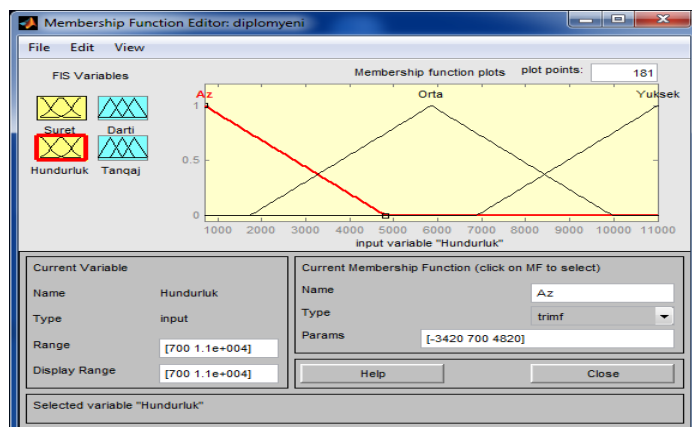
Qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinə müvafiq olaraq qeyri-səlis tənzimləyicinin modelləşdirilməsi zamanı modelin giriş və çıxış parametrlərinin sayı müəyyən edilməlidir. Bizim misalda təyyarənin idarə edilməsində əsas etibarilə istifadə olunan giriş parametrləri kimi sürət və hündürlük, çıxış parametrləri kimi isə dartı avtomatı və tanqaj bucağı götürülmüşdür. Həmin parametrlərin MATLAB proqram mühitinin “Fuzzy Logic Toolbox” paketində müvafiq mənsubiyyət funksiyaları (Membership Function Editor) ilə birlikdə təsviri şəkil 8-də verilmişdir. Giriş parametrlərinin diapazonunu üç hissəyə bölərək aşağı, orta və yüksək kimi təyin edirik. Sürət parametrlərinin diapazonu 500-1000km/san, hündürlük parametrlərinin diapazonu isə 700-2000m təşkil edir. Sürət və hündürlük parametrlərinin hər birinin ayrılıqda görünüşləri şəkil 9 və şəkil 10-da verilmişdir.



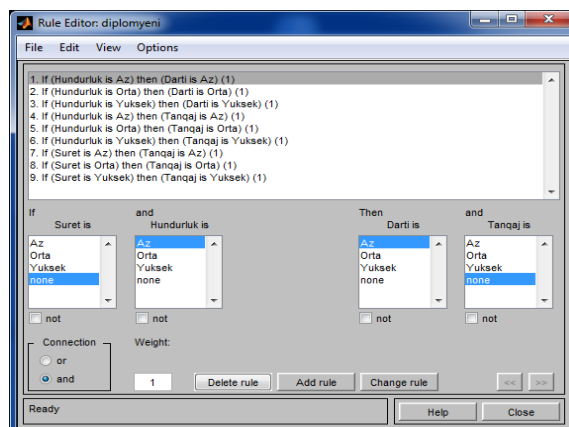
Şəkil 8. Nəzarət olunan parametrlər və onların mənsubiyyət funksiyaları



Şəkil 9. Sürət parametri



Şəkil 10. Hündürlük parametri



Şəkil 11. Qaydalar pəncərəsi

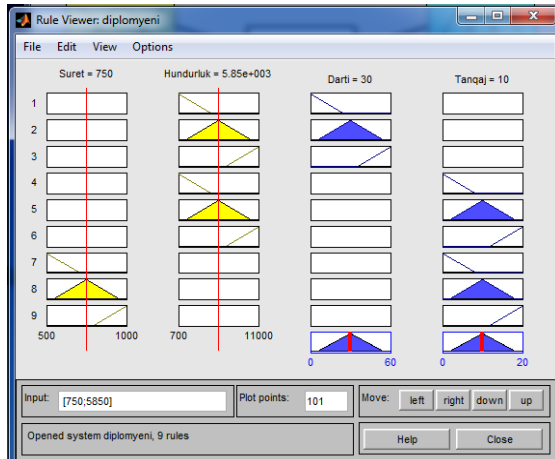
Şəkil 11-də göstərildiyi kimi iş rejiminin verilməsi qaydalarını yaradırıq. İş rejimləri uçuş aparatının xarakteristikalarına, müxtəlif rejimlərə uyğun olaraq təyin edilir. Linqivistik qaydalar aşağıdakı kimi qeyd olunur:

- Əgər sürət=none and hündürlük=az, onda dartı=az
- Əgər sürət=none and hündürlük=orta, onda dartı=orta
- Əgər sürət=none and hündürlük=yüksək, onda dartı=yüksək
- Əgər sürət=az and hündürlük=none, onda tanqaj=az
- Əgər sürət=none and hündürlük=az, onda tanqaj=az
- Əgər sürət=orta and hündürlük=none, onda tanqaj=orta

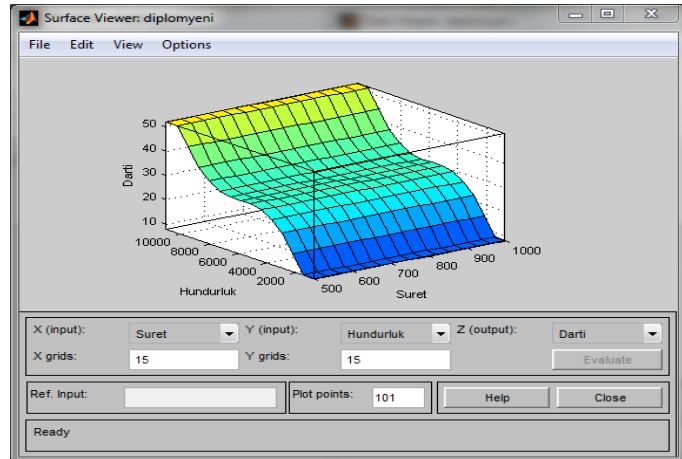
Əgər sürət=none and hündürlük=orta, onda tanqaj=orta

View menyusundan Rules əmrindən istifadə edərək qaydaları qrafiki olaraq şəkil 12-də görmək olar. Input sahəsindən giriş parametrini daxil edərək linqivistiq qaydalara uyğun olaraq çıxış parametrlərini müşahidə etmək olar.

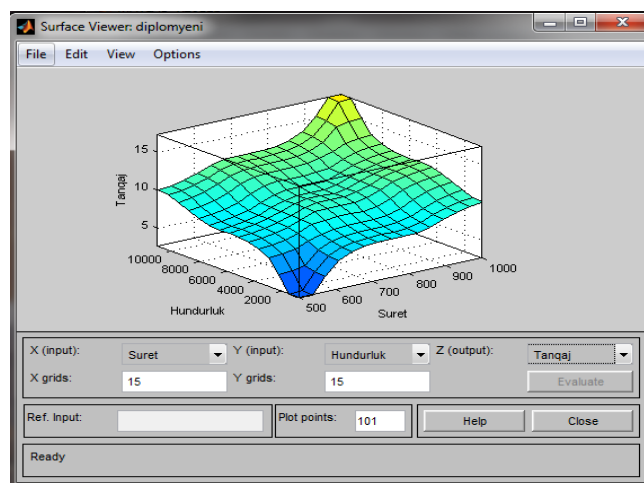
Uçuş aparatının sürətinin, hündürlüyünün, dartı avtomatının (şəkil 13) və tanqaj bucağının (şəkil 14) dəyişmə tempinin asılılıq qrafiklərinə View menyusundan Surface əmrindən istifadə edərək qrafiklərə baxa bilərik. Qrafiklərdə oxlar üzrə sürət və hündürlüyə uyğun olaraq çıxış parametrlərinin qiymətləri əks olunmuşdur.



Şəkil 12. Qaydalar qrafiki



Şəkil 13. Dartı avtomatı asılılıq qrafiki



Şəkil 14. Tanqaj bucağı asılılıq qrafiki

Nəticə

Hava gəmisinin idarə olunması sisteminin bir mürəkkəb texniki sistem kimi modelləşdirilməsi əsaslandırılmış və modelləşdirmənin daha əyani şəkildə təsviri, həmçinin modelin parametrlərinin daha dəqiq təyin edilməsi üçün MATLAB/Simulink proqram vasitələrindən istifadə edilmişdir. Modelin tərkibinə daxil olan bütün komponentləri eksperimental tədqiqi, o cümlədən model üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən tənzimləyicilərin modelləşdirilməsinə və onların müxtəlif aspektlərdən tədqiqi məsələlərinə baxılmış, qeyri-səlis tənzimləyici üçün sürət və hündürlük giriş parametrlərə uyğun olaraq çıxış parametrləri - tanqaj bucağı və dartı avtomatının parametrləri hesablanmışdır. Model təyyarənin idarə olunan hərəkətini real zaman miqyasında imitasiya modelləşdirilməsini təmin edir.