

GENETİK ALGORİTMA ÖDEVİ

ÖRNEK HESAPLAMA

Doç. Dr. Tahir SAĞ

S.Ü. Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği

Bu doküman ödev için örnek bir hesaplama göstermektedir. Ödevde kullanılacak test problemi, seçim-çaprazlama-mutasyon operatörleri, sonlandırma kriteri değişkenlik gösterebilir.

İÇİNDEKİLER

1.	PROBLEM	2
2.	AÇIKLAMA.....	3
3.	KAYNAKLAR	12

1. PROBLEM

Amaç fonksiyonu:

$$f(x) = 5.3578547x_3^2 + 0.8356891x_1x_5 + 37.293239x_1 - 40792.141$$

Sınır fonksiyonları:

$$g_1(x) \equiv 85.334407 + 0.0056858x_2x_5 + 0.0006262x_1x_4 - 0.0022053x_3x_5 \geq 0$$

$$g_2(x) \equiv 92.0 - (85.334407 + 0.0056858x_2x_5 + 0.0006262x_1x_4 - 0.0022053x_3x_5) \geq 0$$

$$g_3(x) \equiv 80.51249 + 0.0071317x_2x_5 + 0.0029955x_1x_2 + 0.0021813x_3^2 - 90.0 \geq 0$$

$$g_4(x) \equiv 110.0 - (80.51249 + 0.0071317x_2x_5 + 0.0029955x_1x_2 + 0.0021813x_3^2) \geq 0$$

$$g_5(x) \equiv 9.300961 + 0.0047026x_3x_5 + 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4 - 20 \geq 0$$

$$g_6(x) \equiv 25 - (9.300961 + 0.0047026x_3x_5 + 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4) \geq 0$$

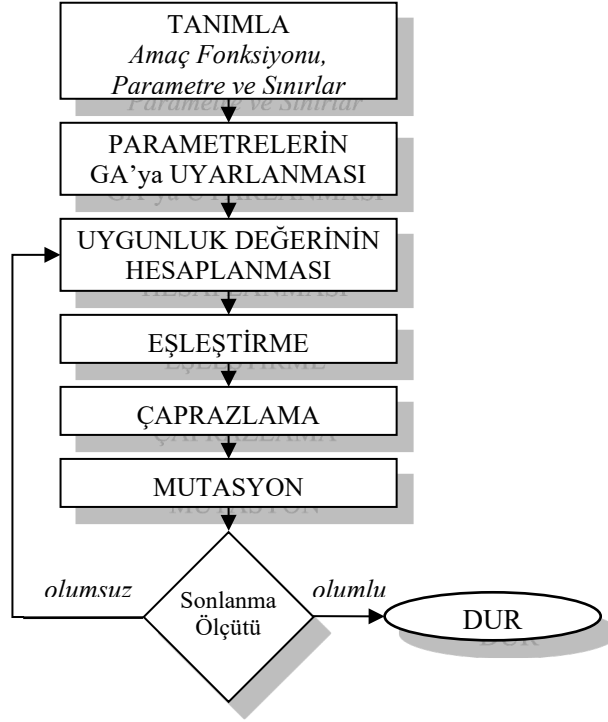
Karar Değişkenlerinin (parametrelerin) alt ve üst sınırları:

$$78 \leq x_1 \leq 102 \quad 33 \leq x_2 \leq 45 \quad 27 \leq x_3 \leq 45 \quad 27 \leq x_4 \leq 45 \quad 27 \leq x_5 \leq 45$$

Yukarıda amaç fonksiyonu, sınır fonksiyonları ve aralıkları verilen problemin minimize edilmesi istenilmektedir.

2. AÇIKLAMA

Bilindiği gibi genetik algoritmalarda çözüme ulaşırken problemin türüne göre kromozomların gösterimi, ikili kodlu veya gerçek kodlu olmak üzere iki şekilde seçilebilir. Bu örnek için değişkenlerin (parametrelerin) gösteriminde gerçek kodlu genetik algoritma kullanılmıştır. Tek kriterli bir genetik algoritmanın işlem adımları aşağıdaki akış diyagramında görülmektedir (bkz şekil-1).



Şekil-1: Genetik Algoritma Akış Diyagramı

1.Adım

Buna göre; amaç fonksiyonu, sınır fonksiyonları ve aralıklar tanımlı olduğundan ve popülasyonun gösterim şekli seçildiğinden, yapılması gereken ilk işlem başlangıç popülasyonunu oluşturmaktır. Aralıkları problemde belirtilen parametrelerin (genlerin) ilk değerleri rasgele olarak bu değerler arasında üretilir ve başlangıç popülasyonu oluşturulmuş olunur.

Problemde verilen aralıklara uygun olarak programda üretilen bir başlangıç popülasyonu aşağıda verilmiştir.(Şekil-2)

No	X1	X2	X3	X4	X5	G1(x)	G2(x)	G3(x)	G4(x)	G5(x)	G6(x)	violated	F(x)
1	78,9016426	37,5093249	27,5157629	27,8746018	44,0881481	93,439052	-1,439052	12,8231251	7,176874949	-1,00682459	6,006824595	-27801,5018	---
2	82,2043581	41,7773139	32,2786403	30,5454061	43,3910457	94,1250201	-2,12502011	16,0006572	3,999342761	2,152184345	2,847815655	-24647,511	---
3	81,1992084	41,4222327	34,3811635	42,228625	43,8332173	94,4816698	-2,48166977	16,1149609	3,885039115	6,09376669	-1,09376669	-21101,2163	---
4	83,5275605	39,991065	36,3604798	27,3047626	30,7598439	91,29029	0,709710045	12,1752287	7,824771323	1,780919947	3,219080053	0	-28446,4595
5	81,2038588	39,5429571	38,8843823	27,1603661	27,6662068	90,5633685	1,436631497	11,2313832	8,768616764	2,345304601	2,654695399	0	-27785,2741
6	78,4614999	40,0169407	40,9917562	40,9573664	32,1780798	91,7593029	0,240697068	12,7662835	7,233716485	8,434312724	-3,43431272	-14958,7234	---
7	93,475184	41,3920067	42,4394935	42,8084784	27,095164	91,6810364	0,31896358	14,0295849	5,970415096	11,96682636	-6,96682636	22997,18083	---
8	99,4576479	37,316405	41,967001	27,9218148	35,8081526	91,3568951	0,643104923	15,0013659	4,99863413	8,079808636	-3,07980864	-15185,1933	---
9	96,9419587	38,0358566	39,5186384	42,7116903	40,1601727	93,1124558	-1,11245583	15,8581558	4,141844232	12,24874772	-7,24874772	28226,03351	---
10	85,5559514	43,3079966	31,042282	36,5746174	28,9349692	92,4380446	-0,43804457	12,6503825	7,349617496	0,74540615	4,25459385	-30177,8484	---
11	80,2241412	40,3584521	34,8253343	31,6664242	32,2588493	91,8501641	0,149835863	12,141459	7,858541014	1,961778271	3,038221729	0	-29139,5838
12	89,8157283	41,5864034	27,3553968	27,208395	43,7420232	94,568747	-2,56874702	16,3064127	3,693587296	-0,69301537	5,693015371	-23071,3225	---
13	92,1704767	44,4494765	36,3212739	43,3673263	31,7846577	93,3244796	-1,3244796	15,7382363	4,261763689	7,35716846	-2,35716846	-20527,8062	---
14	88,4151951	43,1292371	36,5726852	42,1334611	27,7399815	92,232333	-0,23233303	13,3851885	6,614811484	6,003499806	-1,00349981	-27217,7613	---
15	98,8947504	42,0130643	35,438665	36,4966101	34,5533748	93,1481561	-1,14815609	16,0509402	3,949059835	5,913982315	-0,91398232	-25365,8123	---
16	95,1321455	43,1971982	41,172692	32,0001934	39,9992432	93,433097	-1,43309703	18,8425884	1,157411642	9,40305868	-4,40305868	-3541,10185	---
17	81,8455066	37,322086	31,4171388	39,0223972	30,5099739	91,6949068	0,305093155	9,93653952	10,06346048	1,357306579	3,642693421	0	-30364,6554
18	78,7582798	36,1751171	37,7730693	37,5496291	36,2333678	91,6206634	0,379336569	11,5070779	8,492922123	5,841273173	-0,84127317	-27117,8491	---
19	82,2848411	37,0794738	41,758606	29,1797916	43,180295	91,9650123	0,034987726	14,8742894	5,125710582	7,806411479	-2,80641148	-17535,3278	---
20	98,0430058	43,821674	41,1513121	37,9270326	32,3487765	92,7872983	-0,78729827	17,1859997	2,814000282	10,63977205	-5,63977205	7014,669626	---
21	89,2974773	36,9262065	33,9088209	35,8346359	31,2639064	91,5643378	0,435662201	11,1312237	8,86877633	3,096772832	1,903227168	0	-28968,3771
22	86,1980125	34,7326754	43,3287243	42,1130493	37,4097402	91,420734	0,579266018	12,8423113	7,157688653	13,24264237	-8,24264237	43117,13662	---
23	93,4213318	44,137942	40,3552035	32,2091517	40,8578933	93,8361717	-1,83617168	19,2777391	0,722260945	8,789023435	-3,78902343	-7664,6138	---
24	83,5263046	41,5047173	42,2988767	39,8573524	31,2159478	91,8738099	0,126190106	14,039763	5,960236995	9,773618727	-4,77361873	-3124,55584	---
25	82,0649608	35,9471908	44,0230561	32,9000933	42,5263506	91,5883809	0,411619075	14,4789031	5,521096868	10,63477837	-5,63477837	7319,225667	---
26	90,7358028	44,1739936	33,2588735	38,316315	37,5211205	94,1834493	-2,18344934	16,7522838	3,247716242	4,378321605	0,621678395	-23869,1417	---
27	97,4887974	33,7629902	30,2456594	44,6514169	31,5261353	92,0095066	-0,00950663	9,95877101	10,04122899	3,320627688	1,679372312	-29686,5681	---
28	97,9930936	44,7162054	40,5825029	34,7584908	42,3614645	94,4463873	-2,44638731	20,7400582	-0,74005823	10,81814781	-5,81814781	15538,79743	---
29	99,2929289	37,289301	40,66002	27,1398889	42,6673689	92,2423266	-0,24232662	16,5565206	3,443479433	8,127555974	-3,12755597	-14850,599	---
30	84,0089571	40,1760048	36,5494543	33,3218983	39,0355666	92,8579887	-0,85798867	14,7212477	5,27875226	4,964956905	0,035043095	-27025,1662	---
31	81,0335712	33,6224229	28,2939597	33,7110848	29,3000559	90,8180928	1,181907247	7,44581511	12,55418489	-1,56382053	6,563820529	-29051,2146	---
32	83,4030956	37,5775024	28,0087277	38,3082853	39,7120543	93,367019	-1,36701895	12,2543242	7,745675825	0,533556718	4,466443282	-28841,9587	---
33	87,8500253	42,5600931	32,0124092	31,5919288	40,7931421	94,0639183	-2,0639183	16,3295363	3,670463654	2,252646682	2,747353318	-24770,6299	---
34	91,8953514	41,9741691	40,7037866	27,6830165	43,8630731	93,4583126	-1,45831263	18,8110868	1,188913166	7,789680588	-2,78968059	-15210,6819	---
35	84,0938938	44,4497154	34,5403859	42,4958878	33,2462512	93,4421907	-1,44219067	14,8510218	5,148978203	4,910480057	0,089519943	-26847,5426	---
36	97,4863589	38,8405109	43,8831672	35,2327243	38,0196328	92,2020836	-0,20208358	16,5867064	3,413293578	12,9855284	-7,9855284	40068,1312	---
37	100,383793	37,8076908	44,9369752	44,2807485	35,2459421	92,2017672	-0,20176719	15,7894907	4,21050928	18,24320703	-13,243207	152150,7937	---
38	96,2439517	44,9003504	41,5345746	42,351361	27,4738135	92,3842515	-0,38425147	16,0177614	3,982238624	11,50523372	-6,50523372	16715,48908	---

2.Adım

Bu örnekte, elde edilen popülasyondan doğal seçim işlemini yapmak için turnuva seçimi tercih edilmiştir. Turnuva seçiminde, eşleşecek çiftler (popülasyon boyutu kadar) rasgele seçilir. Çiftlerden popülasyona alınacak olan bireylerin (kromozomların) belirlenmesinde sınır fonksiyonlarından elde edilen bir penalty(cezalandırma – $\Psi(x)$) fonksiyonundan faydalanılır.

Penalty fonksiyonu, problemde verilen $g_1(x)$, $g_2(x)$, $g_3(x)$, $g_4(x)$, $g_5(x)$, $g_6(x)$ sınır fonksiyonlarının istenen aralık dışında olması durumunda, üretilen kromozomların olması gereken değerlere yakınlığını değerlendiren bir fonksiyondur. Buna göre çiftlerden penalty fonksiyonu sonucu küçük olan birey popülasyona alınır. Aşağıda, kullanılan penalty fonksiyonu görülmektedir.

$$\phi(x,r) = f(x) + \sum_{k=1}^K r_{kl} G_k [g_k(x)]^2 \quad (1)$$

Turnuva seçinde, seçim sürecini üç maddeyle özetleyebiliriz:

- Eğer kromozom çiftinin her ikisi de uygun aralıkta değilse, penalty fonksiyonu sonucu küçük olan birey alınır. Yani uygun aralığa daha yakın olan birey tercih edilmiş olur. Ayrıca her iki bireyin de uygunlukları hesaplanmaz.
- Eğer kromozomlardan yalnız biri uygun aralıkta ise, yani penalty fonksiyonu sonucu sıfır ise, bu kromozom popülasyona alınır. Diğer kromozomun uygunluğu hesaplanmaz.
- Eğer her iki kromozom da uygun aralıkta ise, kromozomların uygunluk değerleri amaç fonksiyonu yardımıyla hesaplanır ve daha uygun olan birey popülasyona alınır. Bu örnek için minimizasyon yapıldığından dolayı uygunluk değeri daha küçük olan birey seçilir.

Bu anlatılanlara göre program çıktısının devamı olarak turnuva seçimi sonucu elde edilen popülasyon aşağıdaki tablodaki gibidir.(Şekil–3)

No	birinci	ikinci	index	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	7	38	38	96,24395	44,90035	41,53457	42,35136	27,47381	---
2	38	26	26	90,7358	44,17399	33,25887	38,31632	37,52112	---
3	14	1	1	78,90164	37,50932	27,51576	27,8746	44,08815	---
4	16	6	6	78,4615	40,01694	40,99176	40,95737	32,17808	---
5	46	21	21	89,29748	36,92621	33,90882	35,83464	31,26391	-28968,4
6	14	37	14	88,4152	43,12924	36,57269	42,13346	27,73998	---
7	34	12	12	89,81573	41,5864	27,3554	27,20839	43,74202	---
8	34	27	27	97,4888	33,76299	30,24566	44,65142	31,52614	---
9	45	24	45	92,09465	44,28445	43,35243	27,2092	35,73451	---
10	45	4	4	83,52756	39,99107	36,36048	27,30476	30,75984	-28446,5
11	17	46	17	81,84551	37,32209	31,41714	39,0224	30,50997	-30364,7
12	39	37	39	88,83809	44,04372	29,27422	40,04644	34,97395	---
13	28	37	28	97,99309	44,71621	40,5825	34,75849	42,36146	---
14	36	21	21	89,29748	36,92621	33,90882	35,83464	31,26391	-28968,4
15	44	33	44	78,23464	42,60211	32,73166	41,34599	27,11018	-30361,9
16	5	11	11	80,22414	40,35845	34,82533	31,66642	32,25885	-29139,6
17	38	25	25	82,06496	35,94719	44,02306	32,90009	42,52635	---
18	43	39	39	88,83809	44,04372	29,27422	40,04644	34,97395	---
19	8	18	18	78,75828	36,17512	37,77307	37,54963	36,23337	---
20	35	23	35	84,09389	44,44972	34,54039	42,49589	33,24625	---
21	1	35	1	78,90164	37,50932	27,51576	27,8746	44,08815	---
22	36	48	48	80,3035	43,89673	37,47815	36,8156	32,14534	---
23	47	47	47	95,59097	44,79512	39,53642	29,98687	28,97417	---
24	14	23	14	88,4152	43,12924	36,57269	42,13346	27,73998	---
25	23	27	27	97,4888	33,76299	30,24566	44,65142	31,52614	---
26	9	21	21	89,29748	36,92621	33,90882	35,83464	31,26391	-28968,4
27	32	23	32	83,4031	37,5775	28,00873	38,30829	39,71205	---
28	46	10	10	85,55595	43,308	31,04228	36,57462	28,93497	---
29	48	1	48	80,3035	43,89673	37,47815	36,8156	32,14534	---
30	46	26	46	86,00645	42,93357	39,49395	34,52194	31,61669	---
31	13	43	43	95,72207	38,32206	37,776	27,28865	40,92421	---
32	10	14	10	85,55595	43,308	31,04228	36,57462	28,93497	---
33	16	4	4	83,52756	39,99107	36,36048	27,30476	30,75984	-28446,5
34	48	10	10	85,55595	43,308	31,04228	36,57462	28,93497	---
35	18	44	44	78,23464	42,60211	32,73166	41,34599	27,11018	-30361,9
36	20	27	27	97,4888	33,76299	30,24566	44,65142	31,52614	---
37	37	22	22	86,19801	34,73268	43,32872	42,11305	37,40974	---
38	4	31	4	83,52756	39,99107	36,36048	27,30476	30,75984	-28446,5

Şekil-3:

Turnuva Seçimi Sonuçları

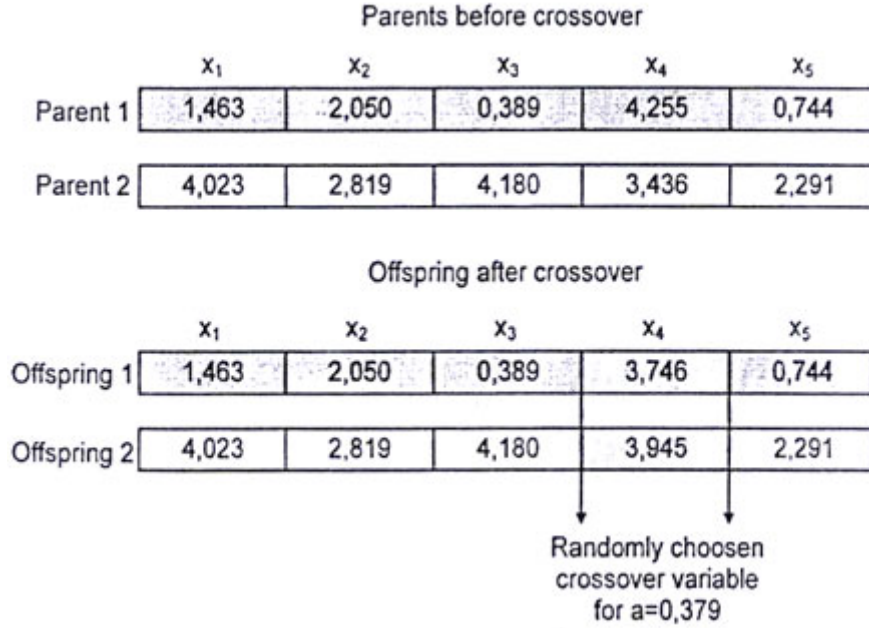
3.Adım

Seçim işleminden sonra sıra çaprazlama işlemindedir. Gerçek kodlu genetik algorithmada da ikili kodludaki gibi çeşitli çaprazlama yöntemleri mevcuttur. Tek düzen metodu, lineer çaprazlama, heuristic çaprazlama, karma çaprazlama, kuadratik çaprazlama vb. Bu problem için tercih edilen metot, aritmetiksel çaprazlamadır.

Aritmetiksel çaprazlamada eşleşen kromozomların, karşılıklı her bir geni için rasgele [0,1] aralığında bir sayı üretilir. Bu sayı çaprazlama oranından küçük ise genler çaprazlama işlemine alınabilir. Daha sonra her bir gen için ρ adı verilen [0,1] aralığında rasgele üretilen bir katsayı ile kromozomlar (2) deki formüle göre çaprazlanır.

$$x_n^{1,t+1} = \rho \cdot x_n^{2,t} + (1 - \rho) \cdot x_n^{1,t} \quad \text{ve} \quad x_n^{2,t+1} = \rho \cdot x_n^{1,t} + (1 - \rho) \cdot x_n^{2,t} \quad (2)$$

Aşağıdaki şemada buna rasgele bir örnek verilmiştir.(şekil-4)



Şekil-3: Aritmetiksel Çaprazlama Örneği

Programdan alınan çaprazlama sonuçları aşağıda görülmektedir. (Şekil-5)

Çaprazlama Sonuçları

1	0,51353943	0,65316118	0,98497348	0,10465259	0,14408535	96,2439517	44,9003504	-1	42,351361	27,4738135	0,46922669	0,89382909	-1	0,5642038	0,6110214	93,3203732	44,8232324	-1	40,5929033	31,3820009
2	-1	-1	-1	-1	-1	90,7358028	44,1739936	-1	38,316315	37,5211205	-1	-1	-1	-1	-1	93,6593812	93,6593812	-1	93,6593812	93,6593812
3	0,66986518	0,39501403	0,99237996	0,20909799	0,05305935	78,9016426	37,5093249	-1	27,8746018	44,0881481	0,20102997	0,31442377	-1	0,34362779	0,97511112	78,5499817	39,2284867	-1	36,4617649	43,7917199
4	-1	-1	-1	-1	-1	78,4614999	40,0169407	-1	40,9573664	32,1780798	-1	-1	-1	-1	-1	78,8131607	78,8131607	-1	78,8131607	78,8131607
5	0,91796166	0,76382698	0,50723307	0,62588287	0,07856239	-1	-1	33,9088209	35,8346359	31,2639064	-1	-1	0,67850336	0,66589213	0,25702837	-1	-1	34,7652444	37,939123	28,6457301
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	36,5726852	42,1334611	27,7399815	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
7	0,13939484	0,23583775	0,11343052	0,15529161	0,62551065	89,8157283	41,5864034	27,3553968	27,208395	43,7420232	0,56592907	0,94612352	0,72674981	0,90938412	0,39884408	93,1463846	41,1649054	28,1451616	28,7890097	36,3983699
8	-1	-1	-1	-1	-1	97,4887974	33,7629902	30,2456594	44,6514169	31,5261353	-1	-1	-1	-1	-1	94,1581411	94,1581411	94,1581411	94,1581411	94,1581411
9	0,18128151	0,21475358	0,0047471	0,91391722	0,69817821	92,0946506	44,2844527	43,3524256	-1	35,7345066	0,40674803	0,89879839	0,36403574	-1	0,6398909	87,0122075	43,8499549	38,905798	-1	33,9430853
10	-1	-1	-1	-1	-1	83,5275605	39,991065	36,3604798	-1	30,7598439	-1	-1	-1	-1	-1	88,6100036	88,6100036	88,6100036	-1	88,6100036
11	0,93730959	0,13824992	0,2050839	0,70539971	0,38659602	-1	37,322086	31,4171388	-1	30,5099739	-1	0,2410118	0,66842942	-1	0,30647012	-1	42,4237271	30,7066091	-1	33,6058716
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	44,0437203	29,2742175	-1	34,9739456	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	0
13	0,45462358	0,48564141	0,47162657	0,96519222	0,20099325	97,9930936	44,7162054	40,5825029	-1	42,3614645	0,43876046	0,88705698	0,10393612	-1	0,26563015	93,1127699	43,8363794	34,6024575	-1	34,2117524
14	-1	-1	-1	-1	-1	89,2974773	36,9262065	33,9088209	-1	31,2639064	-1	-1	-1	-1	-1	94,177801	94,177801	94,177801	-1	94,177801
15	0,02382917	0,71811714	0,7938296	0,63035643	0,65214497	78,2346437	-1	-1	41,3459867	27,1101784	0,29971387	-1	-1	0,8650286	0,14319732	79,6278612	-1	-1	40,0395225	31,5215734
16	-1	-1	-1	-1	-1	80,2241412	-1	-1	31,6664242	32,2588493	-1	-1	-1	-1	-1	78,8309237	-1	-1	78,8309237	78,8309237
17	0,76458613	0,96771393	0,31971877	0,42767914	0,74103962	-1	-1	44,0230561	32,9000933	-1	-1	-1	0,06567059	0,99482595	-1	-1	-1	30,2427824	32,9370688	-1
18	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	29,2742175	40,0464366	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	
19	0,0213501	0,5227881	0,9442205	0,92110662	0,42717182	78,7582798	36,1751171	-1	-1	36,2333678	0,1590225	0,31904053	-1	-1	0,90081098	83,2454111	41,8097832	-1	-1	35,9370786
20	-1	-1	-1	-1	-1	84,0938938	44,4497154	-1	-1	33,2462512	-1	-1	-1	-1	-1	79,6067624	79,6067624	-1	-1	79,6067624
21	0,39884352	0,05433648	0,61606173	0,35560711	0,44718219	78,9016426	37,5093249	27,5157629	27,8746018	44,0881481	0,46502672	0,43254806	0,63759572	0,48403466	0,69387027	79,6515983	41,1338716	31,1261746	32,4878482	40,4320986
22	-1	-1	-1	-1	-1	80,3034989	43,8967322	37,4781501	36,8156023	32,1453368	-1	-1	-1	-1	-1	79,5535432	79,5535432	79,5535432	79,5535432	79,5535432
23	0,03807299	0,34412413	0,54188399	0,47104654	0,56733821	95,5909693	44,7951168	39,5364205	29,9868689	28,9741685	0,84037111	0,2433987	0,08407044	0,04696993	0,40595598	94,4455084	43,53471	36,8218477	41,5629365	28,2410071
24	-1	-1	-1	-1	-1	88,4151951	43,1292371	36,5726852	42,1334611	27,7399815	-1	-1	-1	-1	-1	89,5606559	89,5606559	89,5606559	89,5606559	89,5606559
25	0,67625698	0,70785088	0,24428005	0,77692577	0,70999477	97,4887974	-1	30,2456594	-1	-1	0,97036627	-1	0,86480667	-1	-1	97,2460581	-1	30,7408944	-1	-1
26	-1	-1	-1	-1	-1	89,2974773	-1	33,9088209	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	89,5402167	-1	89,5402167	-1	-1
27	0,59010701	0,43785678	0,7443538	0,31621666	0,82260975	83,4030956	37,5775024	-1	38,3082853	-1	0,30265983	0,751334	-1	0,53516587	-1	84,9043684	39,0024815	-1	37,5024173	-1
28	-1	-1	-1	-1	-1	85,5559514	43,3079966	-1	36,5746174	-1	-1	-1	-1	-1	-1	84,0546786	84,0546786	-1	84,0546786	-1
29	0,71006348	0,54764376	0,40692811	0,81489836	0,77715654	-1	43,8967322	37,4781501	-1	-1	-1	0,04716935	0,18097899	-1	-1	-1	42,9790021	39,129132	-1	-1
30	-1	-1	-1	-1	-1	-1	42,9335704	39,4939493	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1
31	0,27147452	0,76035839	0,224554	0,75717584	0,18826801	95,7220739	-1	37,7760033	-1	40,9242095	0,87413669	-1	0,42847725	-1	0,75125506	94,4425321	-1	33,9275284	-1	37,9419466
32	-1	-1	-1	-1	-1	85,5559514	-1	31,042282	-1	28,9349692	-1	-1	-1	-1	-1	86,8354932	-1	86,8354932	-1	86,8354932
33	0,86066995	0,77403988	0,10376326	0,40251434	0,49904489	-1	-1	36,3604798	27,3047626	30,7598439	-1	-1	0,73541316	0,59279014	0,24232458	-1	-1	34,9533547	31,0795389	29,3771812
34	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	31,042282	36,5746174	28,9349692	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
35	0,76785378	0,22436017	0,6958925	0,42272251	0,34906403	-1	42,6021096	32,7316608	41,3459867	27,1101784	-1	0,88521516	0,73261249	0,66068153	0,06330106	-1	41,5875127	32,0669351	42,4675802	31,2466005
36	-1	-1	-1	-1	-1	-1	33,7629902	30,2456594	44,6514169	31,5261353	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0
37	0,04990831	0,62192008	0,77983404	0,54230144	0,52678	86,1980125	34,7326754	-1	42,1130493	37,4097402	0,49753637	0,84984472	-1	0,41664094	0,31587656	84,8562075	35,5222504	-1	33,4745011	32,8603902
38	-1	-1	-1	-1	-1	83,5275605	39,991065	-1	27,3047626	30,7598439	-1	-1	-1	-1	-1	84,8693655	84,8693655	-1	84,8693655	84,8693655

4.Adım

Çaprazlamadan sonra mutasyon işlemine geçilir. Popülasyondaki her bir kromozomun her bir geni(parametresi) için $[0,1]$ aralığında rasgele bir p sayısı üretilir. Eğer p mutasyon oranından küçükse, gen tekrar üretilerek kromozom mutasyona uğratılmış olunur.

Mutasyon işleminin sonuçları da aşağıda görülmektedir.(Şekil-6)

Şekil-6: Mutasyon Sonuçları

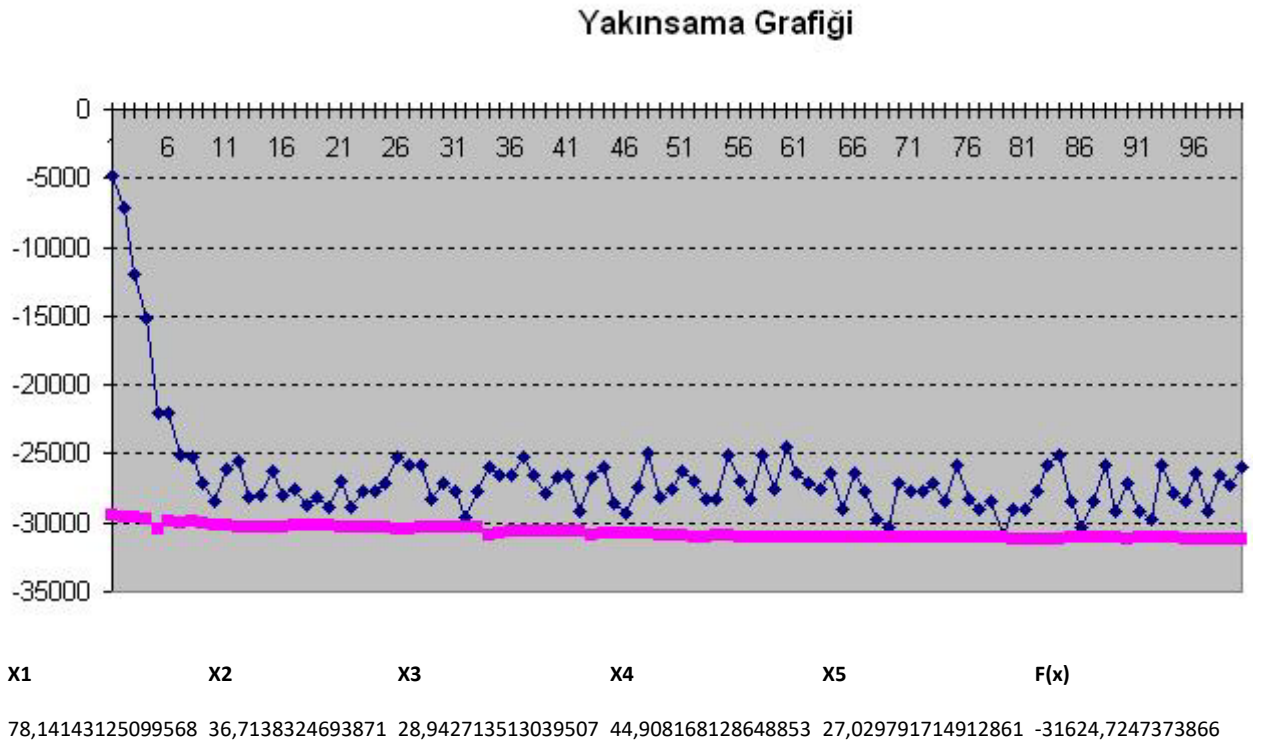
No	X1 önce	X1 için rnd	X1 sonra	X2 önce	X2 için rnd	X2 sonra	X3 önce	X3 için rnd	X3 sonra	X4 önce	X4 için rnd	X4 sonra	X5 önce	X5 için rnd	X5 sonra
1	93,3203732	0,0661938	-1	44,8232324	0,6671582	-1	41,5345746	0,0913176	-1	40,5929033	0,03483849	35,0260068	31,3820009	0,31012182	-1
2	93,6593812	0,06859202	-1	44,2511116	0,22193091	-1	33,2588735	0,37000794	-1	40,0747727	0,45831951	-1	33,6129331	0,41892258	-1
3	78,5499817	0,24540944	-1	39,2284867	0,53573052	-1	27,5157629	0,55561314	-1	36,4617649	0,47840323	-1	43,7917199	0,79259125	-1
4	78,8131607	0,15609808	-1	38,2977789	0,59717618	-1	40,9917562	0,83489095	-1	32,3702033	0,34231481	-1	32,4745081	0,74661103	-1
5	89,2974773	0,49677104	-1	36,9262065	0,81138117	-1	34,7652444	0,38296382	-1	37,939123	0,92893361	-1	28,6457301	0,73480235	-1
6	88,4151951	0,37921886	-1	43,1292371	0,27173122	-1	35,7162618	0,84013053	-1	40,028974	0,87354667	-1	30,3581577	0,64594174	-1
7	93,1463846	0,24752228	-1	41,1649054	0,16664672	-1	28,1451616	0,17179941	-1	28,7890097	0,32159915	-1	36,3983699	0,52595352	-1
8	94,1581411	0,8945558	-1	34,1844881	0,03117165	37,4046229	29,4558946	0,87304652	-1	43,0708021	0,25405174	-1	38,8697886	0,68138944	-1
9	87,0122075	0,78299754	-1	43,8499549	0,60544255	-1	38,905798	0,52343693	-1	27,2092029	0,31759846	-1	33,9430853	0,73522187	-1
10	88,6100036	0,16166231	-1	40,4255628	0,19914586	-1	40,8071074	0,49224517	-1	27,3047626	0,671702	-1	32,5512652	0,12001568	-1
11	81,8455066	0,25219717	-1	42,4237271	0,41523363	-1	30,7066091	0,69762916	-1	39,0223972	0,56942276	-1	33,6058716	0,85577703	-1
12	88,8380887	0,70835378	-1	38,9420792	0,10590488	-1	29,9847472	0,57531946	-1	40,0464366	0,06667041	-1	31,8780479	0,7968608	-1
13	93,1127699	0,38180038	-1	43,8363794	0,49646127	-1	34,6024575	0,81237777	-1	34,7584908	0,1714003	-1	34,2117524	0,07876272	-1
14	94,177801	0,36393111	-1	37,8060325	0,23401399	-1	39,8888663	0,9524497	-1	35,8346359	0,89803545	-1	39,4136185	0,12492643	-1
15	79,6278612	0,72412966	-1	42,6021096	0,58083921	-1	32,7316608	0,66092538	-1	40,0395225	0,37955912	-1	31,5215734	0,7137735	-1
16	78,8309237	0,20593862	-1	40,3584521	0,85952689	-1	34,8253343	0,61133515	-1	32,9728883	0,99958048	-1	27,8474543	0,21755655	-1
17	82,0649608	0,07258536	-1	35,9471908	0,34788537	-1	30,2427824	0,20184467	-1	32,9370688	0,52592606	-1	42,5263506	0,99532511	-1
18	88,8380887	0,75141308	-1	44,0437203	0,47417025	-1	43,0544912	0,75217639	-1	40,009461	0,67017649	-1	34,9739456	0,18620202	-1
19	83,2454111	0,92526677	-1	41,8097832	0,29772706	-1	37,7730693	0,18738133	-1	37,5496291	0,88452864	-1	35,9370786	0,98525153	-1
20	79,6067624	0,28653628	-1	38,8150493	0,79306478	-1	34,5403859	0,35203664	-1	42,4958878	0,23883574	-1	33,5425404	0,37129076	-1
21	79,6515983	0,92764832	-1	41,1338716	0,24669615	-1	31,1261746	0,59420972	-1	32,4878482	0,54677557	-1	40,4320986	0,39588602	-1
22	79,5535432	0,67135796	-1	40,2721855	0,75430825	-1	33,8677384	0,31807004	-1	32,2023559	0,85564926	-1	35,8013864	0,64983841	-1
23	94,4455084	0,84882689	-1	43,53471	0,49456973	-1	36,8218477	0,57573898	-1	41,5629365	0,84911386	-1	28,2410071	0,72427544	-1
24	89,5606559	0,03391501	99,3542607	44,3896438	0,29461659	-1	39,2872579	0,28645171	-1	30,5573935	0,17607519	-1	28,4731429	0,32734964	-1
25	97,2460581	0,48183759	-1	33,7629902	0,28227321	-1	30,7408944	0,71183343	-1	44,6514169	0,19965967	-1	31,5261353	0,4264026	-1
26	89,5402167	0,39345788	-1	36,9262065	0,77639674	-1	33,4135859	0,39430759	-1	35,8346359	0,42723722	-1	31,2639064	0,41287384	-1
27	84,9043684	0,50749025	-1	39,0024815	0,37249942	-1	28,0087277	0,62828972	-1	37,5024173	0,28990823	-1	39,7120543	0,82588921	-1
28	84,0546786	0,75367565	-1	41,8830175	0,65506911	-1	31,042282	0,13004004	-1	37,3804854	0,32396715	-1	28,9349692	0,99710483	-1
29	80,3034989	0,15610021	-1	42,9790021	0,89652714	-1	39,129132	0,02033808	39,9957854	36,8156023	0,33737513	-1	32,1453368	0,43069703	-1
30	86,0064532	0,33826748	-1	43,8513005	0,1602532	-1	37,8429674	0,95133652	-1	34,5219423	0,99191968	-1	31,6166942	0,50661306	-1
31	94,4425321	0,17596145	-1	38,3220576	0,9114861	-1	33,9275284	0,4815299	-1	27,2886526	0,44581073	-1	37,9419466	0,96442294	-1
32	86,8354932	0,88237629	-1	43,3079966	0,3471159	-1	34,8907569	0,96948342	-1	36,5746174	0,27790008	-1	31,917232	0,97791151	-1
33	83,5275605	0,92376245	-1	39,991065	0,42841203	-1	34,9533547	0,23696456	-1	31,0795389	0,34133664	-1	29,3771812	0,12207032	-1
34	85,5559514	0,94744926	-1	43,3079966	0,55920563	-1	32,4494071	0,89838623	-1	32,7998411	0,28023936	-1	30,3176319	0,63954748	-1
35	78,2346437	0,15641167	-1	41,5875127	0,85210804	-1	32,0669351	0,33024481	-1	42,4675802	0,73366065	-1	31,2466005	0,58531046	-1
36	97,4887974	0,26193513	-1	34,7775871	0,3744583	-1	30,9103851	0,76896263	-1	43,5298234	0,70441452	-1	27,3897131	0,0551904	-1
37	84,8562075	0,61614354	-1	35,5222504	0,44297107	-1	43,3287243	0,43531754	-1	33,4745011	0,90626078	-1	32,8603902	0,3315288	-1
38	84,8693655	0,46101332	-1	39,20149	0,14675982	-1	36,3604798	0,8440975	-1	35,9433109	0,86146627	-1	35,3091938	0,87129936	-1

5.Adım

Seçilen sonlanma ölçütüne göre kontrol yapılarak sürecin devam edip etmemesine karar verilir. Sonlandırma belli bir iterasyon sayısına ulaşmak yada bir uygunluk değerine yakınsamak olabilir.

Sonuç

İşlemler istenilen sonlandırma ölçütüne kadar devam ettirildikten sonra problemin çözümüne en uygun olan bireyler popülasyonda birikmiş olur. Buna göre 100 iterasyon için, 0.7 çaprazlama oranında, 0.05 mutasyon oranı ile, 48 populasyon boyutlu ve penalty parametresi 1000 seçilen bir örnek için yakınsama grafiği aşağıdaki gibi olmaktadır.



Yazılan program ile yapılan denemelerde en uygun sonuçlardan biri olarak yukarıdaki tablada verilen sonuçlar elde edilmiştir. Aynı problemin değişik algoritmalarla çözümünün sonuçları aşağıdaki gibidir. Bu da elde edilen sonuçların tutarlı ve hatta daha iyi olduğunu göstermektedir.

Items	Reference Solution	General Reduced Gradient Method	GA Solution by Gen & Cheng, 1997 with proportional selection	The best GA solution with tournament selection
$f(x)$	-30665.5	-30373.950	-30182.269	-30573.244
x_1	78.00	78.62	81.49	78.30
x_2	33.00	33.44	34.09	33.20
x_3	29.995	31.07	31.24	30.44
x_4	45.00	44.18	42.20	44.91
x_5	36.776	35.22	34.37	35.69

3. KAYNAKLAR

1. Andrzej Osyczka, Evolutionary Algorithms for Single and Multicriteria Design Optimization
2. Nazife Baykal – Timur Beyan, Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler