ANADOLU ÜNİVERSİTESİ BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ
ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Cilt/Vol.: 3 - Sayı/No: 3 : 357-361 (2002)
XIV. Ulusal Matematik Sempozyumu Özel Sayısı/Special Issue for XIVth National Mathematics Symposium

ARAŞTIRMA MAKALESİ/**RESEARCH ARTICLE**

KOMPLEKS KATSAYILI POLİNOMLARIN KONVEKS KOMBİNASYONLARININ KARARLILIĞI

Vakıf DZHAFAROV[1], Taner BÜYÜKKÖROĞLU

ÖZ

Polinomlar politopunun kararlılığı için, Kenar Teoremine (Edge Theorem) göre eğer politopun tüm kenarları kararlı ve politoptaki polinomların dereceleri aynı ise o zaman tüm politop da kararlıdır. Bundan dolayı, iki kararlı polinomun konveks kombinasyonunun kararlılığının araştırılması çok önemlidir. Bu çalışmada, iki kararlı kompleks katsayılı polinomun konveks kombinasyonlarının kararlı olup olmadığını incelemek için bir algoritma verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kararlılık, Konveks kombinasyon, Polinomlar politopu.

STABILITY OF CONVEX COMBINATIONS OF COMPLEX POLYNOMIALS

ABSTRACT

By Edge Theorem, if all edges of polynomial polytope is stable then the whole polytope is also stable. Therefore, the investigating of line segments of polynomials with stable end points is of great importance. In this study an algorithm for testing on stability-unstability of complex polynomial segments with stable end points is given.

Key Words: Stability, Convex combination, Polytope of polynomials.

1. GİRİŞ

Bir polinomun köklerinin hepsi sol açık yarı düzlemde ise ($Re(s) < 0$) o zaman bu polinoma kararlı (veya Hurwitz kararlı) polinom denir.

Sonlu tane polinomun konveks zarfından oluşan polinomlar ailesine polinomlar politopu denir.

Kenar Teoremine (Edge Theorem) (Barmish (1994), Bartlett vd. (1988)) göre, dereceleri aynı olan polinomlar politopunun kararlı olabilmesi için gerekli ve yeterli koşul politopun tüm kenarlarının kararlı olmasıdır.

$a(s)$ ve $b(s)$ n. dereceden kompleks katsayılı kararlı polinomlar olsun:

$$a(s) = (\alpha_0 + j\beta_0) + (\alpha_1 + j\beta_1)s + \cdots + (\alpha_n + j\beta_n)s^n$$

$$b(s) = (\mu_0 + j\nu_0) + (\mu_1 + j\nu_1)s + \cdots + (\mu_n + j\nu_n)s^n$$

Burada $\alpha_n\mu_n > 0$ veya $\beta_n\nu_n > 0$ veya $\alpha_n\nu_n - \beta_n\mu_n \neq 0$ eşitsizliklerinden en az birisinin sağlandığını varsayalım. Bu koşul konveks kombinasyon için derece düşmemesini garanti eder.

Bu iki polinomun konveks kombinasyonlarının kümesini

$$L_{a,b} = \{p(.,\lambda) : p(.,\lambda) = (1-\lambda)a(.) + \lambda b(.), \quad 0 \leq \lambda \leq 1\}$$

ile gösterelim. Eğer $L_{a,b}$ ailesindeki tüm polinomlar kararlı ise bu aileye kararlı aile denir.

Bialas (1985), gerçel polinomların konveks kombinasyonlarının kararlılığı için belli bir determinant fonksiyonunun pozitif köklerinin bulunmamasının yeterli olduğunu göstermiştir. Fu ve

[1] Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü 26470 Eskişehir
E-posta: vcaferov@anadolu.edu.tr

Geliş: 26 Mart 2002; **Kabul:** 04 Kasım 2002.

Barmish (1990), verilen kararlı polinom ve matris için belli bir yönde kararlılığın korunması için maksimal sınırlar bulmuşlardır. Rantzer (1992) hem gerçel, hem de kompleks polinomların konveks kombinasyonları için, uç polinomların farkının "büyüme koşulunu" (growth condition) sağladığı durumlarda konveks kombinasyonların kararlı olduğunu göstermiştir. Düşük mertebeden polinomlar için "büyüme koşulu" Dzhafarov vd. (2001) makalesinde incelenmiştir. Kararlı, gerçel iki polinomun konveks kombinasyonların parametrik uzaydaki davranışı Dzhafarov ve Büyükköroğlu (2001) tarafından araştırılmıştır.

Tanım 1. *$\omega \in R$ olmak üzere $\{p(j\omega,\lambda) : 0 \le \lambda \le 1\}$ kümesine $L_{a,b}$ ailesinin ω değerine karşılık gelen değer kümesi denir.*

$a(s)$ ve $b(s)$ polinomlarında $s = j\omega$ yazılırsa,

$$a(j\omega) = (\alpha_0 - \beta_1\omega - \alpha_2\omega^2 + \beta_3\omega^3 + \cdots) + j(\beta_0 + \alpha_1\omega - \beta_2\omega^2 - \alpha_3\omega^3 + \cdots)$$

$$b(j\omega) = (\mu_0 - \nu_1\omega - \mu_2\omega^2 + \nu_3\omega^3 + \cdots) + j(\nu_0 + \mu_1\omega - \nu_2\omega^2 - \mu_3\omega^3 + \cdots)$$

elde ederiz.

$$\begin{aligned} a_R(\omega) &= \alpha_0 - \beta_1\omega - \alpha_2\omega^2 + \beta_3\omega^3 + \cdots \\ a_I(\omega) &= \beta_0 + \alpha_1\omega - \beta_2\omega^2 - \alpha_3\omega^3 + \cdots \\ b_R(\omega) &= \mu_0 - \nu_1\omega - \mu_2\omega^2 + \nu_3\omega^3 + \cdots \\ b_I(\omega) &= \nu_0 + \mu_1\omega - \nu_2\omega^2 - \mu_3\omega^3 + \cdots \end{aligned}$$

gösterimlerini kullanalım.

Önerme 2. *$L_{a,b}$ ailesi kararlıdır $\Leftrightarrow$*

$$a_R(\omega)b_I(\omega) - a_I(\omega)b_R(\omega) = 0 \qquad (1)$$

denkleminin herbir gerçel ω kökü için

$$a_R(\omega)b_R(\omega) > 0 \qquad (2)$$

$$a_I(\omega)b_I(\omega) > 0 \qquad (3)$$

eşitsizliklerinden en az birisi sağlanır.

Kanıt. $\Rightarrow$) $L_{a,b}$ ailesi kararlı ve ω, (1) denkleminin herhangi gerçel kökü olsun. Bu durumda iki boyutlu $(a_R(\omega), a_I(\omega))$ ve $(b_R(\omega), b_I(\omega))$ vektörleri orijinden geçen bir doğru üzerindedir. $L_{a,b}$ kararlı olduğundan bu vektörlerin konveks kombinasyonları kümesi olan $\{p(j\omega,\lambda) : 0 \le \lambda \le 1\}$ doğru parçası orijinden geçmez. Buna göre (2) veya (3) gerçekleşmiş olur (Eğer bu parça koordinat eksenlerinden birinin üzerinde ise (2) veya (3) eşitsizliklerinden bir tanesi, diğer durumlarda ise her ikisi gerçekleşir).

$\Leftarrow$) $L_{a,b}$ ailesinin kararsız olduğunu kabul edelim. $a(s)$ ve $b(s)$ kararlı olduğundan ve polinom köklerinin katsayılara göre sürekliliğinden $\exists\omega_* \in R$ vardır ki $L_{a,b}$ ailesindeki bir polinom $j\omega_*$ köküne sahiptir. Buna göre $\{p(j\omega,\lambda) : 0 \le \lambda \le 1\}$ doğru parçası orijinden geçer. Bundan dolayı ω_*, bir taraftan (1) denklemini sağlarken, diğer taraftan (2) ve (3) eşitsizliklerinin hiçbirisi gerçekleşmez. Aldığımız çelişkiden dolayı $L_{a,b}$ kararlı olur.

Önerme 3. *$L_{a,b}$ ailesi kararsızdır $\Leftrightarrow$ (1) denkleminin öyle ω gerçel kökü vardır ki*

$$a_R(\omega)b_R(\omega) < 0 \qquad (4)$$

$$a_I(\omega)b_I(\omega) < 0 \qquad (5)$$

eşitsizliklerinden en az birisi sağlanır.

Önerme 3 'ün kanıtı Önerme 2 'nin kanıtına benzer yolla yapılabilir.

Burada (1) denkleminin gerçek (exact) ω_1^*, $\omega_2^*, \ldots, \omega_k^*$ gerçel kökleri için (2), (3), (4) ve (5) eşitsizlikleri kontrol edilerek $L_{a,b}$ ailesinin kararlı olup olmadığı belirlenebilir. Ancak gerçek köklerin bulunması her zaman mümkün olmadığından dolayı yaklaşık kökleri kullanalım.

Kabul edelim ki $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_k$, (1) denkleminin sıfırdan farklı yaklaşık gerçel kökleri ve ε bu köklerin mutlak hatası olsun. Buradan $i = 1, 2, ..., k$ için

$$\omega_i - \varepsilon \le \omega_i^* \le \omega_i + \varepsilon \qquad (6)$$

dir.

$\omega_i^* > 0$ ise yeterince küçük $\varepsilon > 0$ sayısı için

$$\omega_i - \varepsilon > 0 \qquad (7)$$

$\omega_i^* < 0$ ise yeterince küçük $\varepsilon > 0$ sayısı için

$$\omega_i + \varepsilon < 0 \qquad (8)$$

tutulabilir.

Bundan böyle (6)-(8) eşitsizliklerinin geçerli olduğunu kabul edelim.

Yukarıdaki önermelerden görüldüğü gibi $L_{a,b}$ ailesinin kararlı olup olmadığını belirlemek için (1) denkleminin gerçel kökleri, bilinen bilgisayar programları yardımıyla yaklaşık olarak bulunup, (2)-(5) eşitsizliklerini kontrol etmeliyiz. Bu eşitsizliklerde $a_R(\omega)$, $a_I(\omega)$, $b_R(\omega)$, $b_I(\omega)$ fonksiyonlarının işaretleri önem taşıdığından bunlar için alt ve üst sınırları aşağıdaki gibi belirleyelim:

Eğer $\omega_i > 0$ ise

$$
\begin{aligned}
\underline{a}_R(\omega_i) &= \alpha_0 - \beta_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\beta_1)) - \alpha_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\alpha_2))^2 + \beta_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\beta_3))^3 + \cdots \\
\overline{a}_R(\omega_i) &= \alpha_0 - \beta_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\beta_1)) - \alpha_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\alpha_2))^2 + \beta_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\beta_3))^3 + \cdots \\
\underline{b}_R(\omega_i) &= \mu_0 - \nu_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\nu_1)) - \mu_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\mu_2))^2 + \nu_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\nu_3))^3 + \cdots \\
\overline{b}_R(\omega_i) &= \mu_0 - \nu_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\nu_1)) - \mu_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\mu_2))^2 + \nu_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\nu_3))^3 + \cdots \\
\underline{a}_I(\omega_i) &= \beta_0 + \alpha_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\alpha_1)) - \beta_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\beta_2))^2 - \alpha_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\alpha_3))^3 + \cdots \\
\overline{a}_I(\omega_i) &= \beta_0 + \alpha_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\alpha_1)) - \beta_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\beta_2))^2 - \alpha_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\alpha_3))^3 + \cdots \\
\underline{b}_I(\omega_i) &= \nu_0 + \mu_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\mu_1)) - \nu_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\nu_2))^2 - \mu_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\mu_3))^3 + \cdots \\
\overline{b}_I(\omega_i) &= \nu_0 + \mu_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\mu_1)) - \nu_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\nu_2))^2 - \mu_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\mu_3))^3 + \cdots
\end{aligned}
$$

Eğer $\omega_i < 0$ ise

$$
\begin{aligned}
\underline{a}_R(\omega_i) &= \alpha_0 - \beta_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\beta_1)) - \alpha_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\alpha_2))^2 + \beta_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\beta_3))^3 + \cdots \\
\overline{a}_R(\omega_i) &= \alpha_0 - \beta_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\beta_1)) - \alpha_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\alpha_2))^2 + \beta_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\beta_3))^3 + \cdots \\
\underline{b}_R(\omega_i) &= \mu_0 - \nu_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\nu_1)) - \mu_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\mu_2))^2 + \nu_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\nu_3))^3 + \cdots \\
\overline{b}_R(\omega_i) &= \mu_0 - \nu_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\nu_1)) - \mu_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\mu_2))^2 + \nu_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\nu_3))^3 + \cdots \\
\underline{a}_I(\omega_i) &= \beta_0 + \alpha_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\alpha_1)) - \beta_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\beta_2))^2 - \alpha_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\alpha_3))^3 + \cdots \\
\overline{a}_I(\omega_i) &= \beta_0 + \alpha_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\alpha_1)) - \beta_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\beta_2))^2 - \alpha_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\alpha_3))^3 + \cdots \\
\underline{b}_I(\omega_i) &= \nu_0 + \mu_1(\omega_i - \varepsilon sgn(\mu_1)) - \nu_2(\omega_i - \\
&\quad \varepsilon sgn(\nu_2))^2 - \mu_3(\omega_i + \varepsilon sgn(\mu_3))^3 + \cdots \\
\overline{b}_I(\omega_i) &= \nu_0 + \mu_1(\omega_i + \varepsilon sgn(\mu_1)) - \nu_2(\omega_i + \\
&\quad \varepsilon sgn(\nu_2))^2 - \mu_3(\omega_i - \varepsilon sgn(\mu_3))^3 + \cdots
\end{aligned}
$$

(6)-(8) eşitsizliklerinden

$$
\begin{aligned}
\underline{a}^e(w_i) \le a^e(w_i^*) \le \overline{a}^e(w_i) \\
\underline{b}^e(w_i) \le b^e(w_i^*) \le \overline{b}^e(w_i) \\
\underline{a}^o(w_i) \le a^o(w_i^*) \le \overline{a}^o(w_i) \\
\underline{b}^o(w_i) \le b^o(w_i^*) \le \overline{b}^o(w_i)
\end{aligned}
\tag{9}
$$

olduğu görülür. Ayrıca

$$
\begin{aligned}
\lim_{\varepsilon \to 0} \underline{a}^e(w_i) &= \lim_{\varepsilon \to 0} \overline{a}^e(w_i) = a^e(w_i^*) \\
\lim_{\varepsilon \to 0} \underline{b}^e(w_i) &= \lim_{\varepsilon \to 0} \overline{b}^e(w_i) = b^e(w_i^*) \\
\lim_{\varepsilon \to 0} \underline{a}^o(w_i) &= \lim_{\varepsilon \to 0} \overline{a}^o(w_i) = a^o(w_i^*) \\
\lim_{\varepsilon \to 0} \underline{b}^o(w_i) &= \lim_{\varepsilon \to 0} \overline{b}^o(w_i) = b^o(w_i^*)
\end{aligned}
\tag{10}
$$

dir. Aşağıdaki tabloları ele alalım:

$\underline{a}_R(\omega_i)$	+			
$\overline{a}_R(\omega_i)$		−		
$\underline{b}_R(\omega_i)$	+			
$\overline{b}_R(\omega_i)$		−		
$\underline{a}_I(\omega_i)$			+	
$\overline{a}_I(\omega_i)$				−
$\underline{b}_I(\omega_i)$			+	
$\overline{b}_I(\omega_i)$				−

Tablo 1: Kararlılık Tablosu

$\underline{a}_R(\omega_i)$	+			
$\overline{a}_R(\omega_i)$		−		
$\underline{b}_R(\omega_i)$		+		
$\overline{b}_R(\omega_i)$	−			
$\underline{a}_I(\omega_i)$			+	
$\overline{a}_I(\omega_i)$				−
$\underline{b}_I(\omega_i)$				+
$\overline{b}_I(\omega_i)$			−	

Tablo 2: Kararsızlık Tablosu

Tablolardaki "+" ve "−" işaretleri karşılarındaki ifadelerin işaretini göstermektedir.

Önerme 4. *$L_{a,b}$ ailesi kararlıdır $\Leftrightarrow$ Her $i = 1, 2, ..., k$ ve yeterince küçük $\varepsilon > 0$ sayısı için Tablo 1 in en az bir sütunu gerçekleşir.*

Kanıt. $\Rightarrow$) $L_{a,b}$ ailesi kararlı olsun. O zaman Önerme 2 'ye göre her $i = 1, 2, \ldots, k$ için

$$a_R(\omega_i^*) b_R(\omega_i^*) > 0 \quad \text{veya} \quad a_I(\omega_i^*) b_I(\omega_i^*) > 0$$

dır. Bu durumda (9) ve (10) dan yeterince küçük $\varepsilon > 0$ sayısı için Tablo 1 'in en az bir sütununun gerçekleştiğini görebiliriz.

$\Leftarrow$) Her ω_i ve yeterince küçük $\varepsilon > 0$ sayısı için Tablo 1 'den en az bir sütun gerçekleşsin. Bu durumda (9) eşitsizliğine göre her ω_i^* gerçek kökü için (2) veya (3) eşitsizliği gerçekleşmiş olur ve Önerme 3 'e göre $L_{a,b}$ kararlıdır.

Önerme 5. *$L_{a,b}$ ailesi kararsızdır $\Leftrightarrow$ Öyle bir i ve $\varepsilon > 0$ vardır ki Tablo 2 nin en az bir sütunu gerçekleşir.*

Önerme 5 'in kanıtı, Önerme 4 'ün kanıtına benzer yolla yapılabilir.

Örnek 6.

$$\begin{aligned} a(s) &= (1+0.7j)+9s+(5+0.3j)s^2+2s^3 \\ b(s) &= (4+2j)+(7+0.6j)s+(3+0.5j)s^2+s^3 \end{aligned}$$

Kararlı polinomları verilsin.

$s = j\omega$ yazılırsa

$$a(j\omega) = 1-5\omega^2+j(0.7+9\omega-0.3\omega^2-2\omega^3)$$
$$b(j\omega) = 4-0.6\omega-3\omega^2+j(2+7\omega-0.5\omega^2-\omega^3)$$

ve buradan (1) denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_R(\omega)b_I(\omega)-a_I(\omega)b_R(\omega)=0$$
$$-0.8-28.58\omega-1.8\omega^2-1.18\omega^3+0.4\omega^4-\omega^5=0$$

Bu denklem bir tek gerçel köke sahiptir ve $\varepsilon = 0.00001$ yaklaşıklıkla bulunan bu gerçel kök $\omega_1 = -0.02804$ için

$$\begin{aligned} \underline{a}_R(\omega_1) &= 0.996065987 \\ \overline{a}_R(\omega_1) &= 0.996071595 \\ \underline{b}_R(\omega_1) &= 4.014457593 \\ \overline{b}_R(\omega_1) &= 4.014472957 \\ \underline{a}_I(\omega_1) &= 0.447358004 \\ \overline{a}_I(\omega_1) &= 0.447538435 \\ \underline{b}_I(\omega_1) &= 1.803278622 \\ \overline{b}_I(\omega_1) &= 1.803419230 \end{aligned}$$

dir. Tablo 1 de birinci ve üçüncü sütun gerçekleştiğinden Önerme 4 'e göre verilen polinomların konveks kombinasyonu da kararlıdır.

Örnek 7.

$$\begin{aligned} a(s) &= (0.57+0.5j)+6s+(1+0.84j)s^2+10s^3 \\ b(s) &= (1.57+0.4j)+8s+(2+0.5j)s^2+10s^3 \end{aligned}$$

Kararlı polinomlarını ele alalım.

$s = j\omega$ yazılırsa (1) denklemi

$$-0.557-4.86\omega+1.6338\omega^2+14\omega^3-1.18\omega^4-10\omega^5=0$$

olarak elde edilir. Bu denklemin $\varepsilon = 0.00001$ yaklaşıklıkla gerçel kökleri

$$\begin{aligned} &\omega_1 = -0.87201 \quad \omega_2 = -0.80159 \quad \omega_3 = -0.11452 \\ &\omega_4 = 0.79535 \quad \omega_5 = 0.87478 \end{aligned}$$

olarak bulunur. Bunlardan $\omega_1 = -0.87201$ için

$$\begin{aligned} \underline{a}_R(\omega_1) &= -0.1904188 \\ \overline{a}_R(\omega_1) &= -0.1903840 \\ \underline{b}_R(\omega_1) &= 0.0491622 \\ \overline{b}_R(\omega_1) &= 0.0492320 \\ \underline{a}_I(\omega_1) &= 1.2596766 \\ \overline{a}_I(\omega_1) &= 1.2602821 \\ \underline{b}_I(\omega_1) &= -0.3253647 \\ \overline{b}_I(\omega_1) &= -0.3256435 \end{aligned}$$

olarak elde edilir. ω_1 için bulunan bu değerlerin işaretleri Tablo 2 deki ikinci ve üçüncü sütundaki gibidir. Dolayısıyla Önerme 5 'e göre verilen polinomların konveks kombinasyonu kararsızdır.

KAYNAKÇA

Barmish, B.R.(1994). *New Tools for Robustness of Linear Systems.* Macmillan, New York.

Bartlett, A.C., Hollot, C.V. and Huang, L. (1988). Rootlocations of an entire polytope of polynomials: It suffices to check the edges. *Mathematics of Control* 1, 61–71.

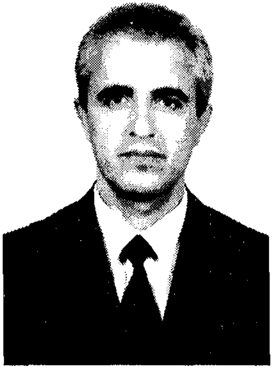
Bialas, S. (1985). A necessary and sufficient condition for the stability of convex combinations of stable polynomials or matrices. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences* 33, 473-480.

Dzhafarov, V., Koçak Ş. and Azcan H. (2002). A Note on a Theorem of Rantzer. *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 12, 403-407.

Dzhafarov, V., Büyükköroğlu T. (2001). Line Segments in the Space of Hurwitz Polynomials, *International Conference on Applicable General Topology*, 12-18 Ağustos 2001, Hacettepe Üniversitesi, Ankara,Türkiye.

Fu, M., Barmish, B.R. (1988). Maximal Undirectional Perturbation Bounds for Stability of Polynomials and Matrices. *Systems Control Lett.* 11, 173-179.

Rantzer, A. (1992). Stability Conditions for Polytopes of Polynomials. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 37, 79-89.



Vakıf DZHAFAROV

1955 yılında Azerbaycan da doğdu. 1975 yılında Bakü Devlet Üniversitesi'nden mezun oldu. 1976-1982 yılları arasında Sovyetler Birliği Bilimler Akademisi Ural merkezinde doktora yaptı. 1991 yılında Baş Bilim Adamı unvanını aldı. 1998 yılından bu yana Anadolu Üniversitesi Matematik Bölümünde sözleşmeli öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Taner BÜYÜKKÖROĞLU

1973 yılında Eskişehir'de doğdu. 1994 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümünden mezun oldu. Yüksek lisansını 1997 yılında Osmangazi Üniversitesi, F en B ilimleri Enstitüsünde, doktorasını 2002 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı.