itüdergisi/***d***
mühendislik
Cilt:2, Sayı:3, 83-90
Haziran 2003

Türbin uygulamaları için eksenel simetrik kanalda viskoinelastik akışkan akımı

Cemil KURTCEBE*, M. Zeki ERİM

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, gaz türbinine ait disk elemanının viskoinelastik bir akışkan ile soğutulmasına ilişkin bir yöntem sunulmuştur. Gerçekten gaz türbinlerinin üretebilecekleri enerjiyi turbin boyutlarını değiştirmeden arttırmak için ya disk ve pallerin imalatında kullanılan malzemenin kalitesini iyileştirmek veya anılan elemanları soğutmak gerekir. Bu çalışmada ikinci yönteme ait bir inceleme verilmiştir. Bu maksatla hız ve sıcaklık dağılımları tayin edilmişlerdir. Nu Nusselt sayısı ise, K viskoinelastik parametrenin, Re Reynolds sayısının ve Pr Prandtl sayısının fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Bu yapılırken temel denklemler pertürbasyon yöntemiyle lineer hale getirilmişlerdir. Netice olarak K viskoinelastik parametrenin artmasıyla f"(0) duvar sürtünme parametresinin azaldığı, Nu Nusselt sayısının ise arttığı gösterilmiştir.
Anahtar Kelimeler: *Newtonyen olmayan, viskoelastik, viskoinelastik, türbin.*

Viscoinelastic fluid flow in an axisymmetric channel for turbine cooling application

Abstract

In the present paper, a method for cooling turbine disks with a non-newtonian viscoinelastic fluid is analyzed. Indeed, in order to increase the amount of energy produced by the gas turbine without changing the dimensions of the engine, there are two possibilities used in practical applications. One of them is to increase the thermal resistance properties of the turbine disk or blade material. The other possibility is to cool the turbine blade or disk element of the turbine engine. In this paper, the latter method is applied in the case of a viscoinelastic coolant fluid. However, the cooling process gives a rise to excess energy consumption which decreases the overall efficiency of the turbine. By means of drag reduction the energy consumption can be economized and turbine engine efficiency can be improved. For this reason it seems reasonable to reconsider the cooling problem of the turbine disk for viscoinelastic fluid flow since it is well known that viscoinelastic fluids have drag reducing property. For this sake the velocity and temperature fields are obtained numerically by applying a perturbation method. The Nusselt number is determined as a function of the cross viscosity parameter K, the Reynolds number Re, and the Prandtl number Pr. As a result, it is shown that increasing the cross viscosity parameter K decreases the wall friction parameter f"(0) and increases the Nusselt number.
Keywords: *Non-newtonian, viscoelastic, viscoinelastic, turbine.*

---

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cemil KURTCEBE. kurtcebe@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 31 22.
Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Non-newtonian viscoelastic and viscoinelastic fluid flow for turbine cooling application" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.12.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 03.07.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Newtonyen olmayan akışkanlara ait uygulamaların polimer işleme, elektronik paketleme, sürtünmenin azaltılması ve soğutma problemleri gibi sanayinin çeşitli alanlarına uzanması sonucunda, newtonyen olmayan akışkan akımları ve bunlara ait ısı transferi problemlerinin önemi giderek artmıştır (Böhme 1981, Akcay ve Yukselen, 1999).

Bu çerçevede, newtonyen olmayan akışkanlara ait akışlar ve ısı transferi problemleri, yukarıda zikredilen önemli uygulamaları dolayısıyla araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Goldstein ve diğerleri (1999) newtonyen olmayan akışlar dahil olmak üzere ısı transferi ile ilgili bir review makalesi yayınlamıştır. Shin ve diğerleri (1999), sıcaklığa bağlı, değişken vizkoziteli akışan akımına ilişkin ısı tranferi problemi incelemiş, bir başka yayınında da şekil değişim hızına bağlı iletkenliğe sahip newtonyen olmayan akışkanın boru içindeki akışını ele almıştır.

Kanal akışlarında ısı transferiyle ilgili bir başka problem Debruge ve Han (1972) tarafından ele alınmıştır ki bu daha once Yuan ve Finkelstein (1956), White vd., (1958) ve Terill (1965) tarafından yapılan çalışmaların uygulaması niteliğindedir. Bu araştırmacılar türbin pallerinin etrafında meydana gelen yüksek sıcaklıktaki akışa karşı ısıl direncin arttırılabilmesi için bir soğutma yöntemi analiz etmişlerdir. Ancak soğutma işi ilave eneji sarfiyatına yol açmaktadır ve bu da türbin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Sürtünmenin azaltılmasıyla enerji sarfiyatı da azaltılabilir ve böylece türbin verimi arttırılabilir. Bu nedenle türbin pallerinin soğutulması probleminin, sürtünmeyi azaltma özelliğine sahip olduğu bilinen newtonyen olmayan akışkan hali için tekrar gözönüne alınması yararlı olacaktır.

Debruge ve Han (1972) tarafından yapılan çalışmanın devamı niteliğinde olan bu çalışmada newtonyen olmayan akışkan akımının türbin soğutulması problemi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Hareket denklemleri

Rivlin (1955), viskoelastik ve viskoinelastik akışkanlar arasında özel bir sınıf akışkan için, belirli bir t anında belirli bir x_k (k = 1, 2, 3) noktasında: t_{ij} gerilme-bileşenlerinin $\partial \upsilon_m/\partial x_n$ (m, n = 1, 2, 3) hız gradyanları ve $\partial a_m/\partial x_n$ (m, n = 1, 2, 3) ivme gradyanları cinsinden bir polinomu olması ve akışkan ortamının izotropik olması halinde, $T=\| t_{ij} \|$ gerilme matrisinin:

$$T = \phi_0 I + \phi_1 A + \phi_2 A^2 + \phi_3 B + ... \qquad (1)$$

şeklinde ifade edilebileceğini göstermiştir.

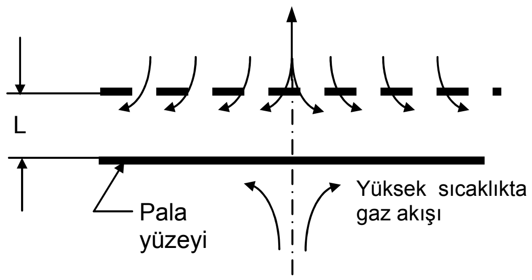
Denklem 1'de I birim matrisdir, A ve B:

$$A = \left\| \frac{\partial \upsilon_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \upsilon_j}{\partial x_i} \right\|,$$

$$B = \left\| \frac{\partial a_i}{\partial x_j} + \frac{\partial a_j}{\partial x_i} + 2 \frac{\partial \upsilon_m}{\partial x_i} \frac{\partial \upsilon_m}{\partial x_j} \right\| \qquad (2)$$

şeklinde tanımlanan simetrik kinematik matrislerdir ve ϕ_q (q = 0, 1, 2, 3), A, B, A^2 matrislerinin envaryantları cinsinden polinomlardır. Bu çalışmada ikinci mertebeden bir akışkan sözkonusudur ve bu durumda ϕ_q (q = 0, 1, 2, 3) sabitlerdir ve ϕ_q (q = 4, 5,...) sıfıra eşittir.

Türbin soğutulması problemine ilişkin kanal akımının analitik modeli şekil 1'de tasvir edilmiştir. Türbin diskinin eksenel simetrik olması nedeniyle bu modelde temel denklemleri silindirik koordinatlarda ifade etmek uygun düşmektedir. Şekil 1' den de anlaşıldığı üzere, türbin diskinin soğutulması problemi, enjeksiyonlu durma noktası akımı olarak kabul edilebilir.



Şekil 1. Akışa ait analitik model

Daimi, eksenel simetrik, newtonyen olmayan akışkan akımı halinde silindirik koordinatlarda temel denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial r u_r}{\partial r} + \frac{\partial r u_z}{\partial z} = 0 \tag{3}$$

momentum denklemleri:

$$\begin{aligned} u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} \\ &+ \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r}\left(\tau_{rr} - \tau_{\theta\theta}\right) + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z}\right] \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} \\ &+ \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right] \end{aligned} \tag{5}$$

enerji denklemi:

$$\rho C\left(u_r \frac{\partial T}{\partial r} + u_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \kappa \nabla^2 T + \Phi \tag{6}$$

Burada τ_{rr}, τ_{rz}, τ_{zr}, τ_{zz}, T gerilme matrisinin bileşenleridir. Gözönüne alınan analitik model aşağıdaki sınır koşullarını gerektirir:

$$u_r = u_z = 0 \quad z = 0 \tag{7}$$

$$u_r = 0\,, \quad u_z = -V \qquad z = L \tag{8}$$

Burada u_r, u_z, r ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenleridir ve V enjeksiyon hızıdır. ρ, p, T, C, κ sırasıyla akışkana ait yoğunluk, basınç, sıcaklık, özgül ısı ve ısıl iletim katsayısıdır. Φ ise disipasyon fonsiyonudur. Gerilme bileşenleri aşağıdaki gibidir:

$$\tau_{rr} = \phi_1 A_{rr} + \phi_2 A_{rr}^2 + \phi_3 B_{rr} \tag{9}$$

$$\tau_{zz} = \phi_1 A_{zz} + \phi_2 A_{zz}^2 + \phi_3 B_{zz} \tag{10}$$

$$\tau_{\theta\theta} = \phi_1 A_{\theta\theta} + \phi_2 A_{\theta\theta}^2 + \phi_3 B_{\theta\theta} \tag{11}$$

$$\tau_{rz} = \phi_1 A_{rz} + \phi_2 A_{rz}^2 + \phi_3 B_{rz} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \tau_{rr}\frac{\partial u_r}{\partial r} + \tau_{\theta\theta}\frac{u_r}{r} + \tau_{zz}\frac{\partial u_z}{\partial z} \\ &+ \tau_{rz}\left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}\right) \end{aligned} \tag{13}$$

Şekil 1'de tanımlanan problemin çözümüne yönelik olarak eksenel simetrik akımlar halinde süreklilik denklemini sağlayan bir akım fonksiyonu tanımlamak uygundur:

$$\psi = V r^2 f(\eta) \tag{14}$$

Burada $\eta = z / L$ olup hız bileşenleri:

$$u_r = \frac{Vr}{L} f'(\eta) \tag{15}$$

$$u_z = -2Vf(\eta)\,. \tag{16}$$

olarak elde edilir. (14) ve (16) denklemleri kullanılarak hareket denklemleri:

$$\begin{aligned} f'^2 - 2ff'' &= -\frac{L^2}{\rho V^2 r}\frac{\partial p}{\partial r} + \\ &\frac{\phi_1}{\rho}\frac{1}{VL} f''' + \frac{\phi_2}{\rho L^2}\left(f''^2 - 2f'f'''\right) \\ &+ \frac{\phi_3}{\rho L^2} 2\left(f''^2 - ff^{iv}\right) \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} 4ff' &= -\frac{L}{\rho V^2}\frac{\partial p}{\partial z} - 2f''\frac{\phi_1}{\rho LV} + \\ &\frac{\phi_2}{\rho L^2} 2\left(14 f'f'' + \frac{r^2}{L^2} f''f'''\right) \\ &+ \frac{\phi_3}{\rho L^2} 4\left(11 f'f'' + ff''' + \frac{r^2}{L^2} f''f'''\right) \end{aligned} \tag{18}$$

haline gelir.

Basınç terimi denklem (17)'nin z koordinatına göre ve denklem (18)'in r koordinatına göre türevi alınarak ve elde edilen iki ifade birbirinden çıkartılarak elimine edilebilir. Bu yapılırsa:

$$-2ff''' = \frac{f^{iv}}{\mathrm{Re}} - \frac{\phi_2}{\rho L^2}\left(4f''f''' + 2f'f^{iv}\right) - \frac{\phi_3}{\rho L^2}\left(4f''f''' + 2f'f^{iv} + 2ff^{v}\right) \tag{19}$$

şeklinde bir ifade elde edilir. Burada sınır şartları:

$$f(0) = f'(0) = f'(1) = 1 - f(1) = 0 \tag{20}$$

dir.

Durma noktası etrafındaki akıma ait denklem (19) viskoinelastik akış (ϕ_3=0) halinde ilk kez Srivastrava (1958) tarafından elde edilip çözülmüştür. Bunu takiben Rajeswari ve Rathna (1962) hem viskoelastik hem viskoinelastik akışlar için durma noktası etrafındaki akıma ait denklemi elde edip çözmüşlerdir. Bu çözümde Kármán-Pohlhausen yöntemi kullanılmış ve denklem 19, (20) nolu ifadede verilen sınır şartları ile birlikte Şekil 1'de tasvir olunan soğutma problemi için yeniden gözönüne alınmıştır.

Momentum denkleminin sayısal çözümü

Denklem (20) nonlineerdir ve çözümü zordur. Bu nedenle bir pertürbasyonun yönteminin uygulanması uygundur. Viskoinelastik akışkan akımı halinde $K = \phi_2/\rho L^2 << 1$ ve $\phi_3/\rho L^2 = 0$ alınarak:

$$f = f_0 + Kf_1 + K^2 f_2 + ... \tag{21}$$

şeklinde bir çözüm önerilebilir. Denklem (21), denklem (19) da yerine konarak aşağıdaki pertürbasyon bağıntıları elde edilir:

$$\frac{f_0^{iv}}{\mathrm{Re}} + 2f_0 f_0''' = 0 \tag{22}$$

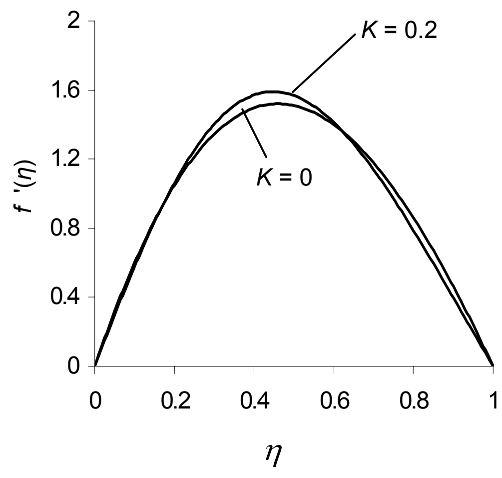
$$\frac{f_1^{iv}}{\mathrm{Re}} + 2\left(f_0 f_1''' + f_1 f_0'''\right) - \left(4f_0'' f_0''' + 2f_0' f_0^{iv}\right) = 0 \tag{23}$$

Sınır şartları:

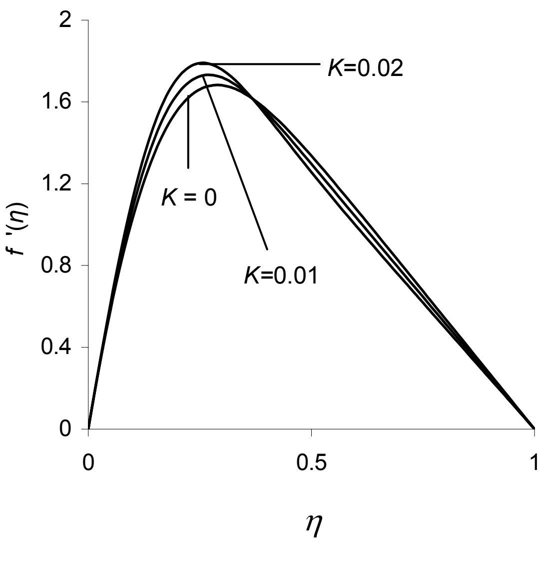
$$f_0(0) = f_0'(0) = f_0'(1) = f_0(1) - 1 = 0 \tag{24}$$

$$f_1(0) = f_1'(0) = f_1'(1) = f_1(1) = 0 \tag{25}$$

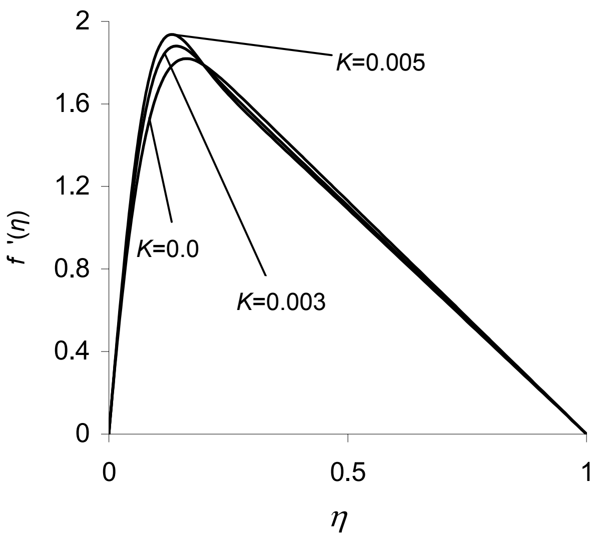
şeklindedir. (22) ve (23) no.lu denklemlerin çözümünde Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Mevcut sayısal çözümün hassasiyeti newtonyen halde Debruge ve diğerleri (1972)'nin çözümü ile karşılaştırılmıştır ve bu durumda iki çözümün çakıştığı görülmüştür. Çözüme ait sonuçlar çeşitli Re ve K değerleri için Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir.



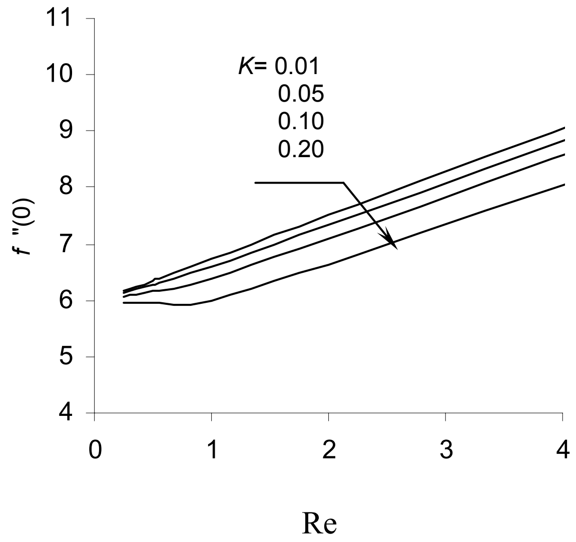
Şekil 2. Re = 1.0, K=0, 0.2 için $f'(\eta)$



Şekil 3. Re = 10, K=0, 0.01, 0.02 için $f'(\eta)$



Şekil 4. Re = 50., K=0,0.003, 0.005 için $f'(\eta)$



Şekil 5. K parametresinin muhtelif değerleri için $f''(0)$ *değişimi*

Şekillerde görüldüğü üzere f' eğrisi newtonyen halden Re<<1 için çok az miktarda sapmaktadır fakat Re>>1 halinde sapma miktarı artmaktadır. Viskoinelastik parametre *K* yine newtonyen halden olan sapmayı arttırmaktadır. Buna ilave olarak, newtonyen ve newtonyen olmayan hallere ait hız eğrileri en az iki noktada kesişmektedir.

Şekil 5'te sürtünme parametresi olan $f''(0)$ değerinin sabit *K* değerleri için Re sayısı ile değişimi verilmiştir. *K* parametresinin sabit değerleri için $f''(0)$ önce bir minimuma kadar azalmaktadır ve bundan sonra tekrar Re sayısı ile artmaktadır. $f''(0)$ sürtünmenin bir ölçüsü olduğuna göre viskoinelastik akışkanların hiç olmazsa endüstriyel gaz türbinlerinde soğutucu akışkan olarak kullanılması makul görünmektedir. Bunun dışında iki ilginç gözlemde bulunmak mümkündür.

Küçük Reynolds sayılarında hız profilleri eksen çizgisine göre simetriktir ki bu newtonyen olmayan akışkan akımı için Poiseuille akımı anlamına gelmektedir. Daha büyük Re sayılarında ise hızın maksimum olduğu nokta katı cidara doğru kaymaktadır. Artan Reynolds sayılarında katı cidarda oluşan sürtünme de böylece artmaktadır. Gerçekten sınır tabaka bu durumda gözenekli cidardan yapılan enjeksiyonun neticesi olarak katı cidarın civarında meydana gelmektedir ki bu durum newtonyen hal ile uyum içindedir (Debruge vd., 1972).

Viskoinelastik akım halinde basınç terimi, denklem (20) ve (21) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\frac{1}{\frac{1}{2}\rho V^2} p = \frac{r^2}{L^2}\left[2\frac{\phi_2}{\rho L^2} f''^2 + \frac{\phi_3}{\rho L^2}\left(4 f''^2\right) + C \right] + F(z) \tag{26}$$

Burada $F(z)$ integral fonsiyonudur ve *C*:

$$C = -2\frac{\phi_1}{\rho V L} f'''(0) + \frac{\phi_2}{\rho L^2} f''(0) \tag{27}$$

şeklinde bir sabittir. Denklem (26)'nın *z* koordinatına gore türevi alınırsa ve elde edilen ifade denklem (18)'de yerine konursa:

$$2ff' = -\frac{\phi_1}{\rho V L} f'' - F'(z) + \frac{\phi_2}{\rho L^2}\left(14 f f''\right) \tag{28}$$

ifadesi bulunur. Hız dağılımı bilindiğine göre $F(z)$ artık denklem (28)'in integrali alınarak hesaplanabilir.

Enerji denkleminin sayısal çözümü ve dissipasyon fonksiyonu

T_0, gözenekli cidarda (y = L) enjekte edilen akışkanın sıcaklığı olmak üzere, katı cidarda (y = 0) sıcaklık dağılımının $T_W = T_0 + \sum_{n=0} C_n \left(r/L\right)^n$ şeklinde ve akış alanı içerisindeki sıcaklık dağılımının:

$$T = T_0 + \sum_{n=0} C_n \left(r/L\right)^n q_n\left(\eta\right) \tag{29}$$

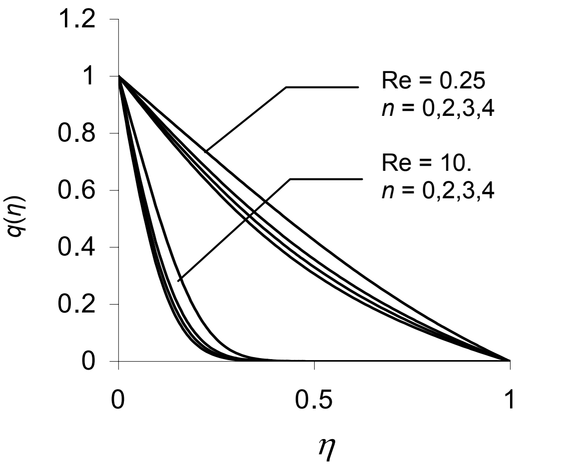
şeklinde olduğu kabul edilirse (Debruge vd., 1972) ve dissipasyon etkileri ihmal edilirse aşağıdaki denklemler ve sınır şartları elde edilir:

$$nf'q_n - 2fq_n' = \frac{1}{\Pr \mathrm{Re}} q_n'' \text{, (n = 0,2,3,4,...)} \tag{30}$$

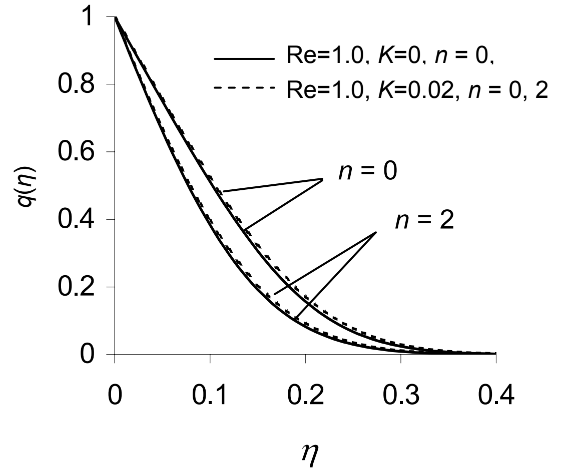
$$q\left(0\right) = 1,\ q\left(1\right) = 0 \tag{31}$$

Denklem (22), (23) ve (30), sırasıyla (24), (25), (31) nolu ifadeler ile verilen sınır şartları kullanılarak eşzamanlı olarak çözülmüştür. Bu çözüme ait sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 6'da Reynolds sayısının ve *n* üs parametresinin muhtelif değerleri için sıcaklık dağılımları verilmiştir. Sabit bir η değerinde *n* artarken sıcaklık artmaktadır. Diğer taraftan Reynolds sayısının artan değerlerine karşılık katı cidar civarındaki yüksek sıcaklık gradyanı yine bir sınır tabaka karakteristiğine işaret etmektedir. Şekil 7'de sıcaklık dağılımının *K* parametresini ile değişimi verilmiştir. Görülmektedir ki *K* sınır tabaka karakteristiğini fazla değiştirmemektedir. Şekil 8'de Nusselt sayısının ($Nu = -q'\left(0\right)$); Reynolds sayısı, Re; Prandtl sayısı, Pr ve üs parametresi, *n* ile değiştiği açık bir şekilde görülmektedir.

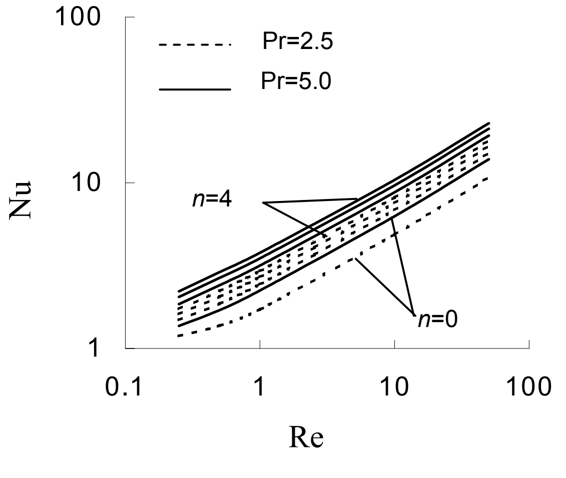
Tablo 1 ve Tablo 2'de Reynolds sayısının ve *K* parametresinin Nusselt sayısı üzerindeki etkisi verilmiştir. Sabit Reynolds sayılarında Nusselt sayısı artan *n* değerine karşılık artmaktadır. Reynolds sayısındaki bir artış yine Nusselt sayısını arttırmaktadır. Buna ek olarak Re<1 için *K* parametresinin Nu sayısını fazla değiştirmediği Re>1 içinse *K* viskoinelastik parametrenin artmasıyla Nusselt sayısının arttığı söylenebilir.



Şekil 6. q(η) dağılımının muhtelif Re and n değerlerine göre değişimi



Şekil 7. q(η) dağılımının muhtelif K ve n değerlerine göre değişimi



Şekil 8. Nusselt saysının Pr ve n ile değişimi

Tablo 1. Nusselt sayısının Pr =2.5, K = 0.01

Re	$n = 0$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
0.5	1.3739	1.8639	2.0575	2.2281
1	1.7208	2.4392	2.7030	2.9302
5	3.5107	4.9410	5.4517	5.8891
10	4.9414	6.9254	7.6329	8.2388

Tablo 2. Nusselt sayısının Pr =2.5, K = 0.02

Re	$n = 0$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
0.5	1.3739	1.8639	2.0573	2.2279
1	1.7211	2.4392	2.7029	2.9299
5	3.5323	4.9664	5.4779	5.9158
10	5.0103	7.0086	7.7198	8.3284

Denklem (9), (10) ve (13) kullanılarak dissipasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunur:

$$\Phi = \frac{\rho V^3}{L}\left[\frac{\beta_1}{\mathrm{Re}} - K\beta_2\right] \tag{32}$$

Burada:

$$\beta_1 = 12f'^2 + \xi^2 f''^2 \tag{33}$$

$$\beta_2 = 24f'^3 - 3\xi^2 ff''^2 \tag{34}$$

ve $\xi = r/L$ dir. Açıktır ki, β_1 ve β_2 sırasıyla newtonyen olmayan viskoz ve newtonyen olmayan viskoinelastik terimlerin toplam dissipasyon fonksiyonuna olan katkılarıdır. Şayet $\phi_2 V / \phi_1 L = 0$ ise toplam disipasyon β_1 / Re 'den ibarettir ve her zaman pozitiftir. Bu durum, akışın fiziksel olarak gerçekleşebilir bir akış olduğunu ortaya koyar. $K > 0$ hali her zaman gerçekleşebilir akış vermez. Örneğin Re=1.0 ve *K*=0.2 (tablo 3) için Φ pozitif değerlere sahiptir ve bu nedenle akış fiziksel olarak gerçekleşmesi mümkün bir akıştır. Halbuki Re=1.0 ve *K*=0.5 için Φ negatif değerler de aldığından bu akış fiziksel olarak gerçekleşemez. Bu çerçevede yapılan hesaba göre artan Re sayılarına karşılık Φ dissipasyon fonksiyonunun pozitif değerler alması için $K <$ 0.2 olmalıdır. Re sayısı arttıkça bu üst sınırın değeri azalmaktadır.

Tablo 3. β_1 ve β_2 değerleri, Re = 1.0, K = 0.2

η	β_1	β_2
0.1	$3.9910+29.2817\xi^2$	$4.6033-50.6605\xi^2$
0.3	$23.5797+6.6257\xi^2$	$66.1068-27.8631\xi^2$
0.5	$29.5074+0.7107\xi^2$	$92.5413-3.3432\xi^2$
0.7	$15.5700+10.1652\xi^2$	$35.4708-34.7369\xi^2$
0.9	$1.9028+15.8914\xi^2$	$1.5153-18.9838\xi^2$

Tablo 4. β_1 ve β_2 değerleri, Re = 1.0, K = 0.5

η	β_1	β_2
0.1	$3.3107+25.7996\xi^2$	$3.4779-40.6538\xi^2$
0.3	$21.7478+7.9225\xi^2$	$58.5546-31.9963\xi^2$
0.5	$30.0772+0.2205\xi^2$	$95.2349-1.0474\xi^2$
0.7	$17.2659+9.9867\xi^2$	$41.4213-35.9376\xi^2$
0.9	$2.1772+18.2977\xi^2$	$1.8548-23.3818\xi^2$

Sonuç

Bu çalışmada, viskoinelastik bir ortamda çalışan türbin diskinin soğutulması problemi ele alınmıştır. Isı transferinin bir ölçüsü olarak Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Bu değişimin logaritmik koordinatlarda doğrusal olduğu tespit edilmiştir. Fiziksel olarak gerçekleşebilir akım için *K* viskoinelastik parametresi 0.2'den küçük olmalıdır. Reynolds sayısının sabit bir değeri için, $f''(0)$ sürtünme parametresinin newtonyen olmayan akış halinde newtonyen hale oranla daha küçük olduğu sonucuna varılmıştır ki bu sonuç enerji sarfiyatının daha az olacağı anlamına gelmektedir.

Kaynaklar

Akcay, M. ve Yukselen A., (1999). Drag Reduction of a nonnewtonian fluid by fluid injection on a moving wall, *Archive of Applied Mechanics,* **69**, 215-225.

Böhme, G., (1981). *Non-Newtonian Fluid Mechanics*, North Holland, 351 sf, Amsterdam.

Debruge, L. L. ve Han, L. S., (1972). Heat Transfer in a Channel with a Porous Wall for Turbine Cooling Application, *ASME Journal of Heat Transfer*, November, 385-390.

Goldstein, R. J., (1999). Heat Transfer – a review of 1999 literature, *International Jounal of Heat Mass Transfer,* **44**, 3582-3699.

Rajeswari, G. K. ve Rathna, S. L., (1962). Flow of a Particular Class of Non-Newtonian Visco-Elastic and Visco-Inelastic Fluids near a stagnation Point, *ZAMP,* **13**, 43-57.

Rivlin, R. S., (1955). Further Remarks on the Stress-Deformation Relations for Isotropic Materials, *Journal of Rational Mechanics and Analysis*, **4**, 323-425.

Shin, S., (1996). The effect of the shear rate dependent thermal conductivity of non-Newtonian fluids on the heat transfer in a pipe flow, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **23**, 665-678.

Shin, S., Ahn, H. H., Cho, Y. I. ve Sohn, C. H., (1999). Heat Transfer Behavior of a temperature-dependent non-Newtonian fluid with Reiner-Rivlin model in a 2:1 rectangular duct, *International Journal of Heat Mass Transfer,* **42**, 2935-2942.

Srivastrava, A. C., (1958). The Flow of a Non-Newtonian Liquid Near a Stagnation Point, *ZAMP,* **9**, 80-84.

Terrill, R. M., (1965). Laminar Flow in Uniformly Porous Channel with Large Injection, *Aeronautical Quarterly,* **16**, 320-332.

White Jr., F. M., Barfield, B. F. ve Coglia, M. J. (1958). Laminar Flow in Uniformly Porous Channel, *Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics*, ASME, **80**, 613-617.

Yuan, S. W. ve Finkelstein, A. B., (1956). Laminar Pipe Flow with Injection and Suction through a Porous Wall, *Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer*, ASME, **78**, 719-724.