



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



اثر شاخص رفتاری سیال پاورلا بر ضریب لیفت و درگ هیدروفویل در جریان آرام

حسام الدین روانبخش

گروه مهندسی دریا و ماشین آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: h.ravanbakhsh@kmsu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۷

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2018.126343.2143

چکیده

محاسبه نیروهای وارد از طرف سیال به سازه های مختلف، زمینه مورد علاقه بسیاری از پژوهشگران می باشد. نیروی های لیفت و درگ مهمترین پارامتر در مبحث هیدروفویل ها محسوب می شوند. با توجه به اینکه فرض سیال نیوتنی در اکثر مطالعات صورت گرفته در این زمینه متداول است. در این مقاله، نیروی های وارد بر یک هیدروفویل در جریان آرام سیال غیر نیوتنی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل انتخابی برای سیال غیر نیوتنی، پاورلا است و شبیه سازی برای سه نوع سیال رقیق شونده، نیوتنی و غلیظ شونده، در زوایای حمله صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه و شاخص های رفتاری ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در نظر گرفته شده است. ایجاد مش، پردازش و محاسبات پس پردازش این تحقیق توسط سه نرم افزار رایگان و متن باز بترتیب جی مش، اینفوم و پاراویو انجام پذیرفته است. جهت اعتبارسنجی، مشاهده می شود، ضرایب لیفت و درگ، در شاخص رفتاری یک، یعنی سیال نیوتنی، با نتایج مشابه تطابق دارد. با افزایش زاویه، پدیده جدایش سیال رقیق شونده زودتر رخ می دهد. همچنین کاهش ضریب لیفت برای این سیال غلیظ شونده در زاویه حمله بزرگتری اتفاق می افتد.

واژگان کلیدی: هیدروفویل، سیال پاورلا، لیفت، درگ، جریان آرام

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

با نوشتن معادله بقای مومنتوم برای یک محیط پیوسته، در مختصات کارتزین می توان به روابط (۱) تا (۳) دست پیدا کرد. این معادلات برای تمام سیالات، اعم از نیوتنی و غیر نیوتنی معتبر است. همچنین مؤلفه های تنش نرمال طبق روابط (۴) تا (۵) بدست می آید.

τ_{xx} ، τ_{yy} و τ_{zz} را مؤلفه های تنش نرمال انحرافی می نامند که مجموع آنها در سیال نیوتنی صفر است؛ ولی در سیال غیر نیوتنی باعث ایجاد جریان های ثانویه می شوند. P نیز فشار هیدرواستاتیکی محسوب می شود. در سیالات نیوتنی بین تنش برشی و آهنگ کرنش زاویه ای رابطه ای خطی برقرار است (رابطه ۷)؛ اما در مدل پاورلا برای سیال غیر نیوتنی مطابق رابطه (۸) این تناسب خطی نیست. اگر شاخص رفتاری این مدل از یک کمتر باشد، سیال را رقیق شونده و اگر بزرگتر از یک باشد، آن را غلیظ شونده می نامند. منظور از رقیق شونده اینست که با افزایش آهنگ کرنش زاویه ای تغییرات تنش برشی کاهش می یابد، عبارتی ویسکوزیته ظاهری کاهش پیدا می کند (رابطه ۹).

بدیهی است تعریف سیال غلیظ شونده عکس این مطلب است (Chhabra et al, 2008).

جریان سیال نیوتنی روی اجسام با اشکال مختلف از مباحث مورد علاقه دانشمندان علم شاره ها می باشد و اطلاعات گسترده ای در زمینه پدیده های انتقال مومنتوم، جرم و گرما بدست آمده است. بعنوان نمونه، M.M.Zdravkovich (1997 و 2003) اصول جریان را حول استوانه با مقطع دایره ای را بررسی نموده است و B.M. Sumer et al. (2006) هیدرودینامیک اطراف سازه های استوانه ای را مورد مطالعه قرار دادند. مطالعه اثر متقابل جریان غیرنیوتنی و سازه های مختلف نیز بدلیل کاربرد وسیع این پدیده توسط پژوهشگران پیگیری شده است. P. Koteswara Rao et al. (2011) عبور سیال پاورلا اطراف استوانه ای با مقطع مربعی در یک کانال را بررسی نمودند. Akhilesh et al. (2010) تأثیر نسبت انسداد کانال را روی استوانه ای با مقطع مربعی در جریان پاورلا پیش بینی کردند. Avinash Chandra et al. (2011) تأثیر شاخص رفتاری روی رینولدز بحرانی سیال پاورلا گذرنده از نیم استوانه بررسی نمودند. Jaber Aboueian-Jahromi et al. (2011) در زمینه تأثیر زاویه قرارگیری استوانه ای با مقطع مربعی و دمای بالا که در مسیر سیال پاورلا می باشد، از نقطه نظر هیدرودینامیک و انتقال حرارت بحث نموده اند.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(\vec{V} \cdot \vec{\nabla})u = \rho g_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho(\vec{V} \cdot \vec{\nabla})v = \rho g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho(\vec{V} \cdot \vec{\nabla})w = \rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (3)$$

$$\sigma_x = -P + \tau_{xx} \quad (4)$$

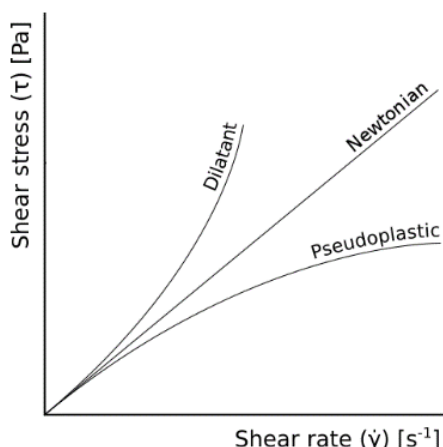
$$\sigma_y = -P + \tau_{yy} \quad (5)$$

$$\sigma_z = -P + \tau_{zz} \quad (6)$$

$$\tau_{yx} = \mu \dot{\gamma}_{yx} \quad (7)$$

$$\tau_{yx} = m \dot{\gamma}_{yx}^n \quad (8)$$

$$\mu_{app} = m \dot{\gamma}_{yx}^{n-1} \quad (9)$$



شکل ۱- تغییر تنش برشی بر حسب آهنگ کرنش زاویه ای برای سه نوع سیال رقیق شونده، نیوتنی و غلیظ شونده

Fig. 1- The change of shear stress according to the angular strain rate for three types of dilute, Newtonian and thickening fluids

برای شبیه سازی مطابق شکل (۳)، در نظر گرفته شده است. شرط سرعت ثابت در ورودی سمت راست، گرادیان فشار صفر در خروجی سمت چپ، سرعت صفر روی سطح هیدروفویل و گرادیان سرعت صفر در بالا و پایین دامنه در پوشه {۰} مسأله اعمال شده‌اند.

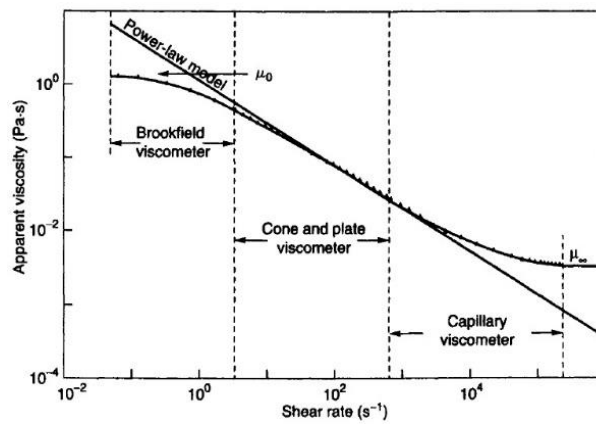
گرادیان سرعت صفر، برای جلوگیری از تأثیر مرزهای بالا و پایین روی میدان حل، بکار رفته است. با توجه به اینکه نرم افزار اوپن فوم بصورت سه بعدی اقدام به حل مسایل می پردازد و دامنه مسأله حاضر دو بعدی است، وجوه جلو و عقب آن empty تنظیم می شود. حلگر مناسب برای حل این مسأله non Newtonian Ico Foam است.

پس از پردازش، با استفاده از دستور ParaFOAM در پوشه حل، در نرم افزار پاراویو اقدام به محاسبات پسا پردازش جهت تعیین ضرایب لیفت و درگ برای زاویه های حمله مختلف صورت گرفته است. شکل (۵)، چند نمونه از میدان حل سرعت را در نرم افزار پاراویو برای زوایای حمله مختلف در $n=0/5$ را نشان می دهد.

به منظور اعتبارسنجی و برای مقایسه نتایج بدست آمده با تحقیقات گذشته، فقط برای حالت $n=1$ T.Putranto et al (2017) ضرایب لیفت و درگ را گزارش داده است. این مقایسه در شکل های (۶) و (۷)، بترتیب برای ضرایب لیفت و درگ نشان از شبیه سازی و محاسبات قابل قبول است.

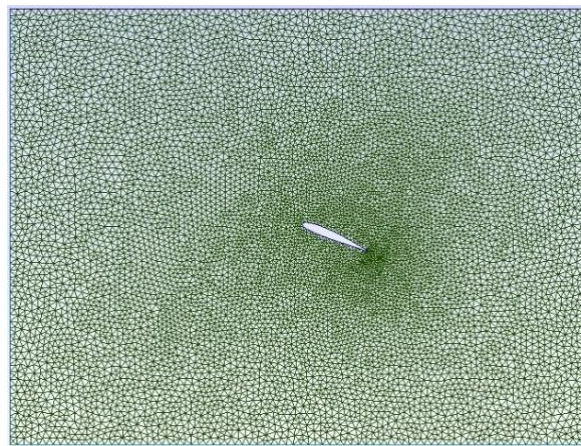
شکل (۱) تغییرات تنش برشی نسبت به آهنگ کرنش زاویه ای را برای سه نوع سیال رقیق شونده، نیوتنی و غلیظ شونده نشان می دهد. رفتار یک سیال غیر نیوتنی، در مدل پاورلا طبق روابط فوق، تابع شاخص رفتاری می باشد. البته طبق بررسی های صورت گرفته، این مدل برای نرخ های برش نزدیک صفر و بسیار زیاد خطا دارد که در شکل (۲)، بصورت لگاریتمی نشان داده شده است. در بررسی حاضر، تأثیر این پارامتر در جریان آرام روی ضریب لیفت و درگ هیدروفویل NACA ۲۲۱۲ در زوایای مختلف حمله ارائه شده است. هیدروفویل انتخاب شده، چهار شماره ای است که بر این اساس نامگذاری می شود که رقم اول آن صد برابر نسبت بیشینه خمیدگی به طول وتر، رقم دوم ده برابر نسبت محل قرارگیری بیشینه خمیدگی از زاویه حمله به طول وتر و دو رقم آخر صد برابر نسبت بیشینه ضخامت به طول وتر است.

به منظور شبیه سازی از سیستم عامل لینوکس استفاده گردید و پس از بدست آوردن مختصات نقاط، با استفاده از آنها، بدنه هیدروفویل در نرم افزار جی مش بصورت دوبعدی رسم گردید. سپس، از طریق امکانات این نرم افزار به شکل سه بعدی مش زنی روی آن انجام گردید. مش سه بعدی، به دلیل شرط ورود آن به نرم افزار اینفوم، استفاده شده است. با توجه به تشکیل لایه مرزی در نزدیکی سطح هیدروفویل، مش های ریزتری در این ناحیه مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۳)، یک نمونه تصویر مش بکار گرفته شده را نشان می دهد. دامنه حل و شرایط مرزی اعمال شده



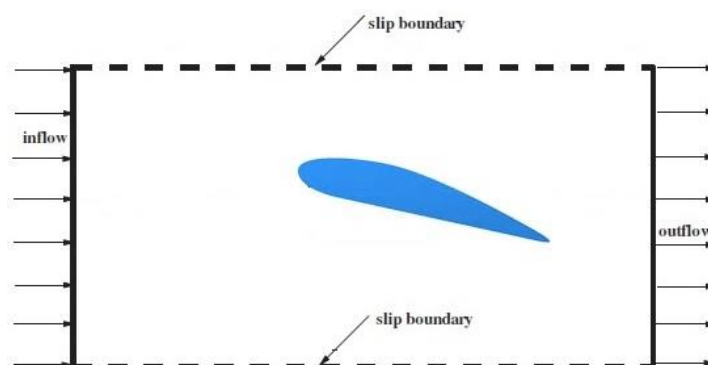
شکل ۲- نمایش خطای مدل پاورلا در نرخ برش های نزدیک صفر و بسیار زیاد

Fig. 2- exhibition the error of the Power-law model in closer to zero and high cutting rates value



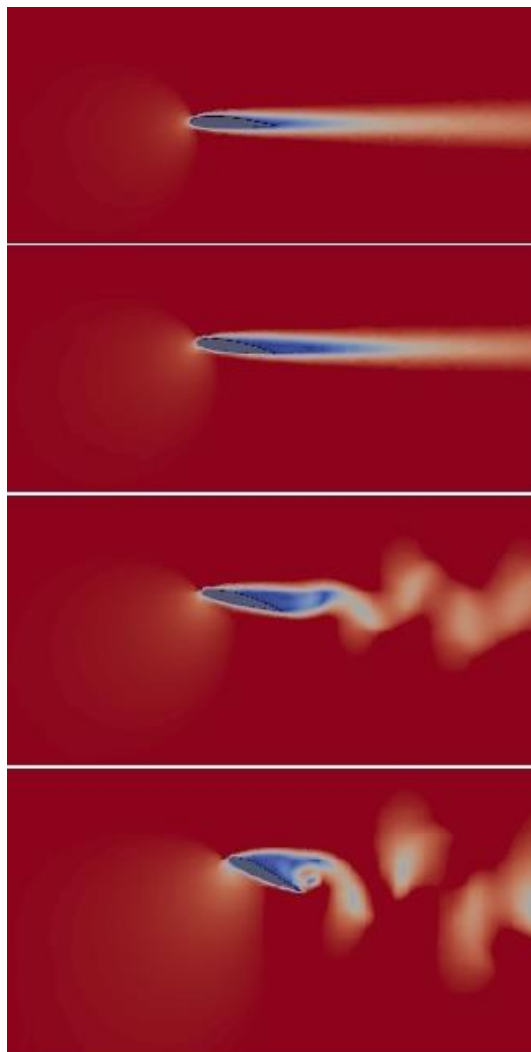
شکل ۳- نمونه ای از مش ایجاد شده توسط نرم افزار جی مش

Fig. 3- An example of a mesh generated by Gmsh software



شکل ۳- دامنه حل مسأله

Fig. 3- Scope of problem solving



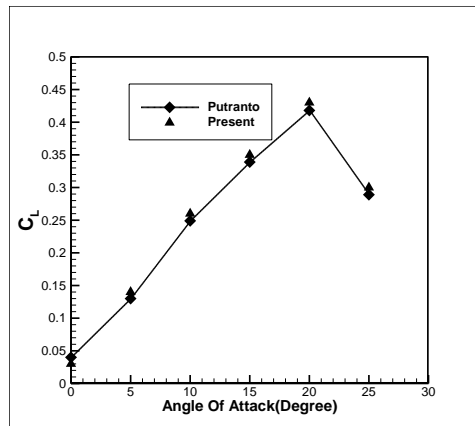
شکل ۵- نمونه ای از میدان حل سرعت برای زوایای حمله مختلف در $n=0.5$

Fig. 5- An example of the velocity solution field for different angles of attack at $n=0.5$

شونده زودتر رخ می دهد؛ که این امر باعث افزایش ضریب درگ این نوع سیال در زاویه کمتر از 20° درجه می شود. همینطور این ضریب برای سیال غلیظ شونده بدلیل تأخیر در پدیده جدایش در زاویه بیشتر از 20° زیاد خواهد شد. در رابطه با ضریب لیفت، کاهش آن برای سیال نیوتنی تقریباً در زاویه 20° در رخ می دهد. با این وجود، سیال غلیظ شونده با توجه به ماهیت آن، در زاویه بیشتری دچار پدیده جدایش می شود؛ در نتیجه کاهش ضریب لیفت برای این نوع سیال در زاویه حمله بزرگتری اتفاق می افتد. کاهش ضریب لیفت سیال رقیق شونده در زاویه ای کوچکتر از سیال نیوتنی نیز تأییدی بر همین استدلال است.

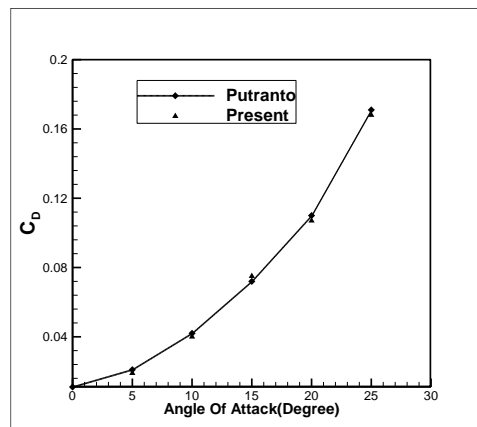
۳. نتایج و بحث

ضرایب لیفت و درگ برای هیدروفویل 2212 در زوایای حمله 5° ، 10° ، 15° ، 20° و 25° برای سه نوع سیال رقیق شونده، نیوتنی و غلیظ شونده بترتیب در دو شکل (۸) و (۹) ارایه شده است. همانطور که انتظار می رود با افزایش زاویه حمله ضریب درگ افزایش می یابد؛ ولی ضریب لیفت پس از زاویه خاصی بدلیل پدیده جدایش، کاهش می یابد. در زاویه صفر درجه، ضریب درگ برای سیال غلیظ شونده بدلیل افزایش تنش برشی در لایه مرزی بیشتر از سیال نیوتنی است و همینطور این ضریب برای سیال رقیق شونده کمتر از سیال نیوتنی است. با افزایش زاویه، پدیده جدایش سیال رقیق



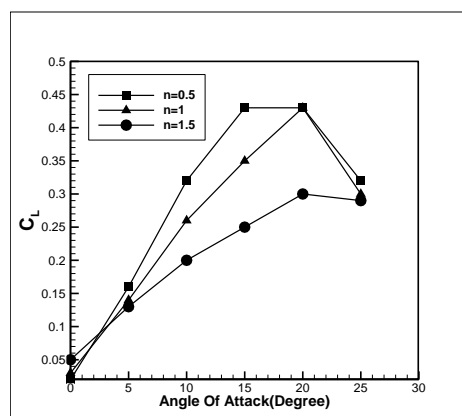
شکل ۶- صحت سنجی ضریب لیفت

Fig. 6- Verification of lift coefficient



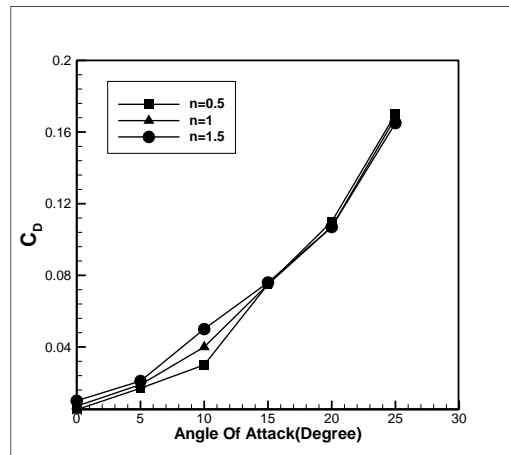
شکل ۷- صحت سنجی ضریب درگ

Fig. 7- Verification of drag coefficient



شکل ۸- ضریب لیفت سه نوع سیال در زوایای مختلف

Fig. 8- Lift coefficient of three types of fluids at different angles



شکل ۹ - ضریب درگ سه نوع سیال در زوایای مختلف

Fig. 9- Drag coefficient of three types of fluids at different angles

مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده با شماره قرارداد ۹۶۱۳۷ مورخ ۹۶/۲/۱۶ از محل اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر می باشد.

تقدیر و قدردانی

نویسنده ضمن تشکر و قدردانی از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، اعلام می دارد این مقاله

References

- Aboueian-Jahromi, J., Nezhad, A.H. and Behzadmehr, A., 2011. Effects of inclination angle on the steady flow and heat transfer of power-law fluids around a heated inclined square cylinder in a plane channel. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 166(23-24), pp.1406-1414.
- Chandra, A. and Chhabra, R.P., 2011. Influence of power-law index on transitional Reynolds numbers for flow over a semi-circular cylinder. *Applied Mathematical Modelling*, 35(12), pp.5766-5785.
- Chhabra, R.P. and Richardson, J.F. 2008. *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology*. Butterworth-Heinemann.
- Putranto, T. and Sulisetyono, A., 2017. Lift-drag coefficient and form factor analyses of hydrofoil due to the shape and angle of attack. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(21), pp.11152-11156.
- Rao, P.K., Sahu, A.K. and Chhabra, R.P., 2011. Momentum and heat transfer from a square cylinder in power-law fluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(1-3), pp.390-403.
- Rao, P.K., Sasmal, C., Sahu, A.K., Chhabra, R.P. and Eswaran, V., 2011. Effect of power-law fluid behavior on momentum and heat transfer characteristics of an inclined square cylinder in steady flow regime. *International journal of heat and mass transfer*, 54(13-14), pp.2854-2867.
- Sahu, A.K., Chhabra, R.P. and Eswaran, V., 2010. Two-dimensional laminar flow of a power-law fluid across a confined square cylinder. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 165(13-14), pp.752-763.
- Sumer, B.M., 2006. *Hydrodynamics around cylindrical structures* (Vol. 26). World scientific.
- Zdravkovich, M.M., 1997. *Flow around circular cylinders: Volume 2: Applications* (Vol. 2). Oxford university press.
- Zdravkovich, M.M. 2003. *Flow around circular cylinders: Volume 2: Applications*. Oxford: Oxford University Press.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Effect of power-law fluid behavior Index on Hydrofoil Lift and drag coefficient in Laminar Flow

Hesamoddin Ravanbakhsh

Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

*Corresponding Author E-mail: h.ravanbakhsh@kmsu.ac.ir

Received: 6 April 2018

Revise Date: 7 May 2018

Accepted: 9 May 2018

DOI: [10.22113/JMST.2018.126343.2143](https://doi.org/10.22113/JMST.2018.126343.2143)

Abstract

Calculating the forces acting from the fluid to different structures is a field of interest to many researchers. Lift and drag forces are the most important parameters in the hydrofoil issues. Given that the Newtonian Fluid assumption is common in most studies in this field; in this paper, the forces imposed on a hydrofoil in a laminar non-Newtonian fluid flow have been investigated. The model is Power law for non-Newtonian fluid, and is simulated for three dilatants, Newtonian and pseudo plastic fluid at angles of attack of zero, 5, 10, 15, 20 and 25 degrees, and behavior indexes of 0.5, 1 and 1.5 is considered. Creating Mesh, Processing, and Post-Processing Computing This research is done by three free and open source softwares, G-Mesh, Open FOAM, and Para view. For validation, the lift and drag coefficients in the behavior index 1, that's mean Newtonian fluid, are consistent with similar results. As the angle increases, the dilatant fluid separation phenomenon occurs earlier; also Lowering lift coefficient for this concentrated fluid occurs at a larger angle of attack.

Key words: Hydrofoil, Lift, Drag, Power law, Slow flow.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

