



# Geometrical Conditions Study to Select a Suitable Machining Strategy for Oval Gear



## ARTICLE INFO

### Authors

Sheykholeslami M.R.<sup>1\*</sup>

Mazdak S.<sup>2</sup>

Mohammadi H.<sup>3\*</sup>

Meighani N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engineering faculty, Arak University, Arak, Iran

<sup>2</sup> Engineering faculty, Tafresh University, Tafresh, Iran.

<sup>3</sup> Amayesh Sanat Company, Arak, Iran.

### \* Correspondence

Engineering faculty, Arak University, Arak, Iran.

m-sheykholeslami@araku.ac.ir

### How to cite this article

Sheykholeslami M.R., Mazdak S., Mohammadi H., Meighani N. Geometrical Conditions Study to Select a Suitable Machining Strategy for Oval Gear. ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):245-248.

## ABSTRACT

The mechanical flow meter is a widely used tool in various industries such as the oil industry. A pair of oval gears is used in the mechanical flow meter. The most important issue in the oval gear is the lack of uniformity in the shape of its teeth. This lack of uniformity prevents the gears from interfering with each other, for this reason, similar to the circular gear, it is not possible to machine. For the oval gear machining, tool design, or the use of the wire-cut method is required. As a result, it is necessary to know the profile of oval gear teeth. Therefore, in this article, the relations governing oval gears have been investigated. In these relationships, the number of teeth, geometric dimensions, and equations of motion have been investigated. Then, it was modeled using the Gear-Otix software and with the help of the results of the relationships of the gears, the interference conditions of the two gears were checked in this software, and finally, the stress analysis of the gear was done by using Comsol software for the appropriate state. With the help of the created model, it is possible to produce this gear using the wire-cut method.

**Keywords** Oval Gear, Elliptic Gear, Stress Analysis

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته  
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۲۴۵-۲۴۸



# بررسی شرایط هندسی برای انتخاب استراتژی مناسب ماشین‌کاری چرخنده اوال



## چکیده

دبی سنج مکانیکی یکی از ابزارهای پرکاربرد در صنایع مختلف همچون صنعت نفت است. در دبی سنج مکانیکی از یک جفت چرخنده اوال استفاده می‌شود. مهمترین مسئله در چرخنده اوال عدم یکنواختی در شکل دندانه آن است. این عدم یکنواختی برای جلوگیری از تداخل چرخنده‌ها در هم است به همین دلیل مشابه چرخنده گرد نمی‌توان چرخنده تراشی کرد. برای ماشین‌کاری چرخنده اوال نیازمند طراحی ابزار یا استفاده از روش وایرکات است. در نتیجه نیازمند شناخت پروفیل دندانه‌های چرخنده اوال می‌باشد. از اینرو در این مقاله به بررسی روابط حاکم بر چرخنده‌های اوال پرداخته شده است. در این روابط تعداد دندانه ابعاد هندسی و معادلات حرکت بررسی شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار گیراوتیکس و به کمک نتایج روابط چرخنده‌ها مدل شده است شرایط تداخل دو چرخنده در این نرم‌افزار بررسی شده است در نهایت با استفاده از نرم‌افزار کامسول برای حالت مناسب تحلیل تنش چرخنده انجام شد. به کمک مدل ایجاد شده امکان تولید این چرخنده با استفاده از روش وایرکات وجود دارد.

## مشخصات مقاله

### نویسنده‌ها

محمدرضا شیخ الاسلامی<sup>۱\*</sup>

سیامک مزدک<sup>۲</sup>

حمیدرضا محمدی<sup>۳</sup>

ناصر میقانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه اراک، دانشکده فنی و

مهندسی، گروه ساخت و تولید، اراک

<sup>۲</sup> دانشگاه تفرش، دانشکده فنی و

مهندسی گروه مکانیک، تفرش

<sup>۳</sup> شرکت آمایش صنعت فن آور، اراک

### \* نویسنده مسئول

آدرس: دانشگاه اراک، دانشکده فنی و

مهندسی، گروه ساخت و تولید، اراک

m-sheykholeslami@araku.ac.ir

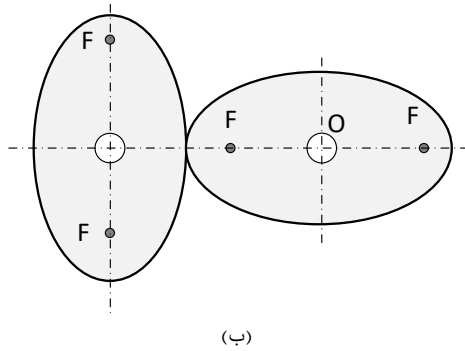
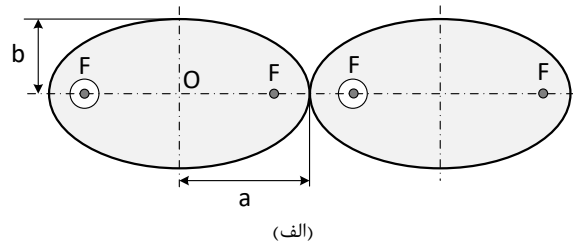
کلیدواژه‌ها چرخنده اوال، چرخنده بیضی، تحلیل تنش

۱- مقدمه

چرخنده یکی از اجزای مکانیکی مهم در انتقال قدرت می باشد. چرخنده از دیرباز مورد استفاده بشر بوده است و تکاملی تدریجی را داشته است. اولین چرخنده ها از تنه درخت و شاخه های فرورفته در تنه درخت ساخته شده بود تا چرخنده های امروزی که منحنی دندانهای آن به صورت منحنی اینولوت می باشد. در چرخنده های گرد نسبت سرعت خروجی و ورودی یک عدد ثابت می باشد. از نوع چرخنده های جدید چرخنده اووال و چرخنده بیضی شکل می باشند در این چرخنده ها نسبت سرعت ورودی و خروجی عدد ثابتی نیست و با تابع مشخصی تغییر می کند یا به بیان دیگر یک حرکت دورانی با سرعت ثابت را به حرکت دورانی با سرعت متغییر در یک سیکل چرخشی می توان تغییر داد [۱] این خصوصیت چرخنده های اووال و بیضی شکل سبب می شود. کاربردهای متفاوتی از جمله در دی سنج ها، پمپ های سیال داشته باشند. نگیون هونگ و همکاران [۲] روابط حاکم بر هندسه چرخنده بیضی شکل را بررسی کرده و شرایط اصلاح پروفیل چرخنده برای جلوگیری از تداخل را بررسی کردند. بیر و همکاران [۳] با استفاده از تکنیک کمان- دایره پروفیل چرخنده اووال را بررسی کردند نشان دادند که با استفاده از روش ماشینکاری با چرخنده شانه ای امکان چرخنده اووال وجود ندارد. هوانگ و همکاران [۴] روابط حاکم بر چرخنده اووال را بررسی کردند و نشان دادند که می توان با چرخنده اووال به نسبت دور متغییر رسید. در این مقاله بر اساس روابط حاکم بر چرخنده اووال مدلی در نرم افزار گیراتیکس انجام شد. در این نرم افزار تحلیل تداخل و حرکت انجام شد. سپس در نرم افزار کامسول ورژن ۶ در محیط مولتی بادی دینامیک<sup>۱</sup> شبیه سازی شدند. با توجه به کاربرد این چرخنده در دی سنج شرایط تنش این نوع چرخنده بررسی شد. در نهایت مدلی جهت ماشینکاری ارائه شد.

۲- تفاوت چرخنده اووال و بیضی

از لحاظ هندسی منحنی اووال و بیضی شباهت زیادی با هم دارند ولی کاربرد چرخنده اووال به چرخش حول مرکز آن است ولی چرخنده بیضی حول نقاط کانونی آن است. در شکل (۱) نمونه ای از چرخنده اووال و بیضی نشان داده شده است.



شکل (۱): شماتیکی از چرخنده الف (بیضی ب) چرخنده اووال

۳- مبانی تئوری طراحی چرخنده اووال

$R_1$  شعاع دایره گام چرخنده در زاویه  $\theta_1$  اووال از رابطه (۱) بدست می آید [۴].

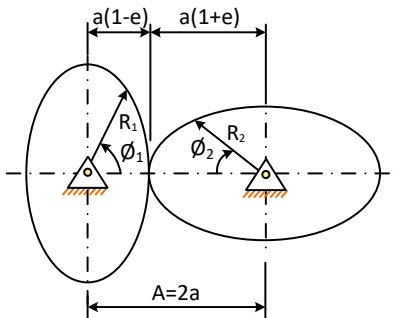
$$R_1 = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(2\theta_1)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $a$  شعاع بزرگ،  $\theta_1$  زاویه قطبی و  $e$  خروج از مرکزی است.

می توان  $R_1$  را از رابطه (۲) نیز محاسبه کرد در این رابطه  $b$  شعاع کوچک می باشد [۵].

$$R_1 = \frac{2ab}{(a+b) - (a-b) \cos(2\theta_1)} \quad (2)$$

ساختار چرخنده اووال در شکل (۲) نشان داده شده است [۶].



شکل (۲) ساختار چرخنده اووال

شعاع گام چرخنده محرک و متحرک را می توان به صورت  $R_2$  و  $R_1$  در نقطه تماس دو چرخنده می باشد. روابط (۱) تا (۳) را می توان

نوشت [۱]

$$R_1 + R_2 = a \quad (3)$$

$$v_1 = \omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 = v_2 \quad (4)$$

$$\omega_1 = \frac{d\phi_1}{dt}, \omega_2 = \frac{d\phi_2}{dt} \quad (5)$$

در روابط (۳) تا (۵)،  $v_1$  و  $v_2$  سرعت مماسی دو چرخنده در نقطه تماس است.  $\omega_1$  و  $\omega_2$  سرعت زاویه ای دو چرخنده می باشد.

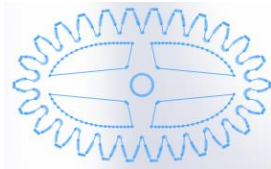
$i$  نسبت دور حاصل از چرخنده اووال از رابطه (۶) بدست می آید.

$$i = \frac{1-e^2}{1+2e \cos(2\theta_1) + e^2} \quad (6)$$

طبق نتایج [۷] مرجع برای جلوگیری از تداخل چرخنده ها باید شرط رابطه (۷) برقرار باشد.



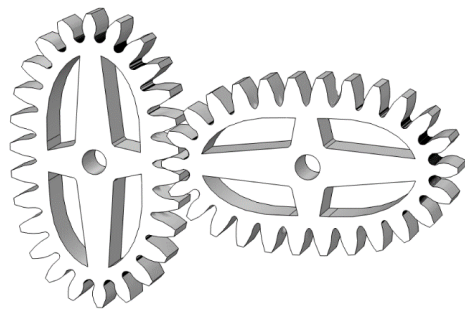
(الف)



(ب)

شکل ۴) مدل وارد شده به سالیدورک (الف) چرخنده محرک (ب) چرخنده متحرک

پس از ورود به سالیدورک متناسب با عملکرد چرخنده‌ها در دی‌سنج نیاز بود که تغییراتی در آن داده شود و انجام پاره‌ای اصلاحات، چرخنده‌ها بر روی هم سرهم شدند در شکل (۵) مدل سرهم شده نشان داده شده است.



شکل ۵) مدل سرهم شده

#### ۵- تحلیل حرکتی

برای اطمینان از حرکت بدون تداخل دو چرخنده بر روی هم از نرم افزار گیر اوتیکس استفاده شد. یکی از چرخنده‌ها به صورت محرک و دیگری به صورت متحرک در نظر گرفته شد. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است. چرخنده در زوایای مختلف بر روی هم بدون تداخل قرار گرفته‌اند.

#### ۶- تحلیل المان محدود

برای تحلیل تنش از شبیه‌سازی المان محدود به کمک نرم‌افزار کامسول ویرایش ۶ استفاده شد. به این منظور مدل ایجاد شده در نرم افزار فراخوانده شد. تحلیل در محیط مولتی بادی دینامیک انجام شد. چرخنده‌ها به صورت جامد الاستیک از جنس فولاد AISI 4340 در نظر گرفته شدند. مطابق شکل (۷) مدل المان‌بندی شد. عدم وابستگی به مش‌بندی با انجام چند شبیه‌سازی و بررسی تغییرات بیشینه تنش انجام شد. در نهایت تعداد المان ۷۲۹۸۰۲ انتخاب شد. المان‌ها از نوع سالید سه درجه آزادی مرتبه ۱ با شکل تتراکونالد در نظر گرفته شد. برای اعمال تماس بین دو چرخنده

$$e \leq \frac{1}{3} \quad (7)$$

به منظور اطمینان از اینکه دندانه واقع بر روی قطر اصلی یک چرخنده بر روی دندانه قطر فرعی چرخنده دیگر قرار بگیرد طبق نتایج مرجع [۴] تعداد دندانه چرخنده‌ها باید از رابطه (۸) پیروی کند در رابطه (۸)،  $n$  یک عدد صحیح مثبت و  $Z$  تعداد دندانه چرخنده است.

$$Z = 2n + 4 \quad (8)$$

از رابطه (۹) محیط دایره گام بدست می‌آید در این رابطه  $L$  محیط دایره گام،  $m$  مدول چرخنده و  $Z$  تعداد دندانه‌ها چرخنده می‌باشد.

$$L = \pi \cdot m \cdot z \quad (9)$$

طول کمان محنی گام از رابطه (۱۰) بدست می‌آید [۴]

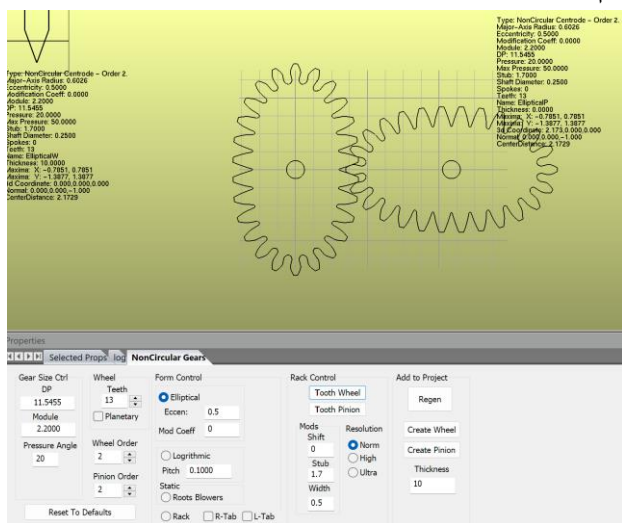
$$S = 4a\sqrt{1+3e^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{4e^2}{1+3e^2} \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (10)$$

از رابطه (۱۱) شعاع بزرگ چرخنده اول محاسبه می‌شود [۴].

$$a = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{4\sqrt{1+3e^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{4e^2}{1+3e^2} \sin^2 \varphi} d\varphi} \quad (11)$$

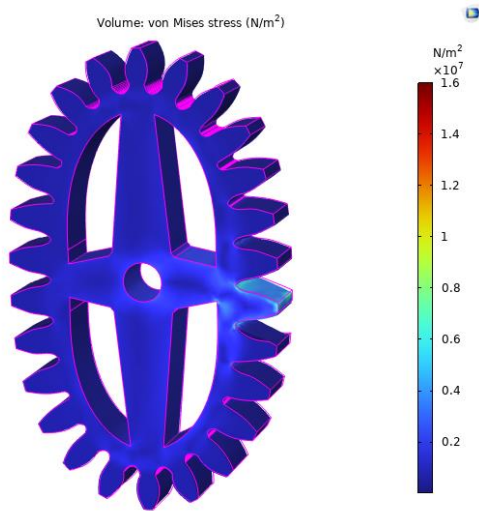
#### ۴- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی چرخنده بیضی‌شکل یکی از بهترین نرم‌افزارها نرم‌افزار گیر تراکس می‌باشد در این نرم‌افزار امکان مدل کردن چرخنده اول می‌باشد. مطابق شکل (۳) چرخنده‌های اول در نرم‌افزار گیر اوتیکس مدل شد.



شکل ۳) مشخصات و مدل ایجاد شده در گیر اوتیکس

پس از آنکه در نرم‌افزار گیر اوتیکس مدل شد هر کدام از چرخنده‌ها به صورت فایل dxf ذخیره شد. سپس در نرم‌افزار سالید ورک ورژن ۲۰۲۳ فراخوانده شد در شکل (۴) مدل‌های فراخوانده شده در سالیدورک نشان داده شده است



شکل ۸) توزیع تنش وان میسر

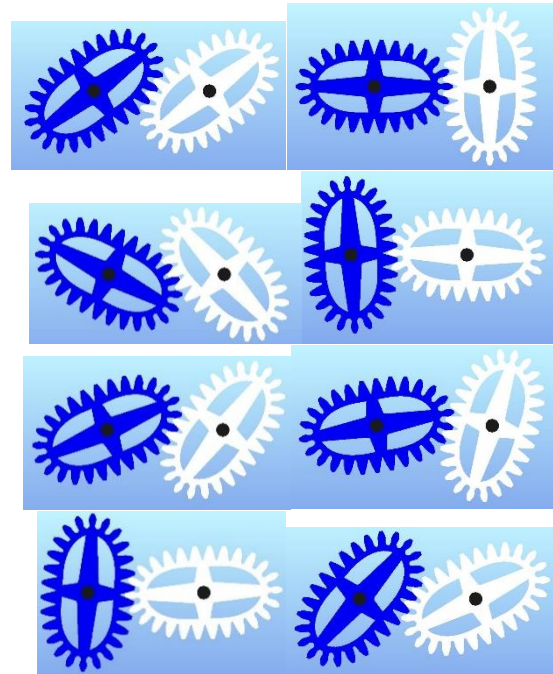
#### ۸- جمع‌بندی

در این مقاله به بررسی روابط حاکم بر طراحی و معادلات حرکت چرخنده اولال پرداخته شده است. به این منظور بر اساس روابط چرخنده اولال در نرم‌افزار گیراوتیکس طراحی شد. در این نرم‌افزار تحلیل تداخل انجام شد سپس به کمک نرم‌افزار کامسول تحلیل تنش برای کاربردی مثل استفاده در دی‌سنج‌ها انجام شد نشان داده شد که جنس انتخاب شده و طرح در نظر گرفته شده امکان استفاده در این کاربرد را دارد

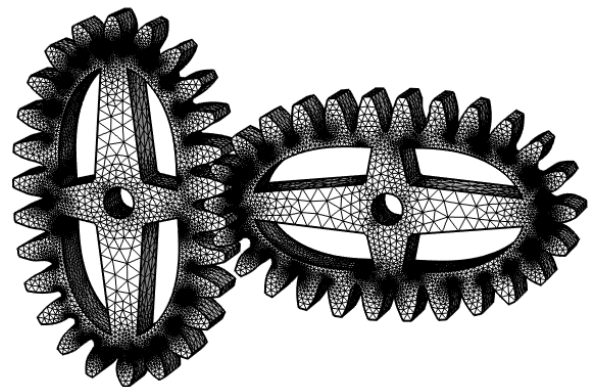
#### ۹- مراجع

- [۱] پورآذری، خ.، مهندسی معکوس چرخ‌دنده‌های بیضوی دی‌سنج دنده‌ای با استفاده از تکنولوژی CAD/CAM. مهندسی مکانیک، ۲۰۲۰، ۲۹(۳): ۶۰-۶۵.
- [2] Hong Thai, N. and P. Van Thom. *Research on the Characteristics of Tooth Shape and Size of the Oval Gear Drive with an Involute Profile*. in *Regional Conference in Mechanical Manufacturing Engineering*. 2021. Springer.
- [3] Bair, B.-W., et al., *Tooth profile generation and analysis of oval gears with circular-arc teeth*. Mechanism and machine theory, 2009. 44(6): p. 1306-1317.
- [4] Huang, Z., S. Zhi, and C. Shi. *Design and Experiment of a Teaching Tool for Oval Gears with Variable Transmission Ratio*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. IOP Publishing.
- [5] García Hernández, C., et al., *WEDM manufacturing method for noncircular gears, using CAD/CAM software*. 2016.
- [6] Li, F., Z. Yin, and Z. Zhang, *Transmission design of noncircular gear and special gear*. 1983, China Machine Press, China.
- [7] Guo, C., W. Fu, and Z. Peng, *The Design and Optimization of Movement Combination for Oval Gear and Sine Mechanism*. 2002.

از شرایط تماس چرخنده نرم‌افزار (Gear contact pair) استفاده شد. یکی از چرخنده‌ها ثابت و چرخنده دیگر امکان دوران حول محور آن داده شد. با توجه به کاربرد این نوع چرخنده‌ها در دی‌سنج مقدار گشتاور ۱ N.m به چرخنده قابل حرکت داده شد.



شکل ۶) تحلیل تداخل و حرکتی چرخنده در یک دور کامل چرخش نسبت به هم



شکل ۷) مدل المان‌بندی شده

#### ۷- نتایج تحلیل المان‌محدود

همانطور که پیشتر بیان شد برای تحلیل تنش از نرم‌افزار کامسول استفاده شد. در شکل ۸) توزیع تنش وان میسر برای مدل نشان داده شده است. تنش تسلیم فولاد استفاده شده برابر ۲۸۰ مگاپاسکال است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشینه و توزیع تنش در چرخنده در محدوده قابل قبول است.