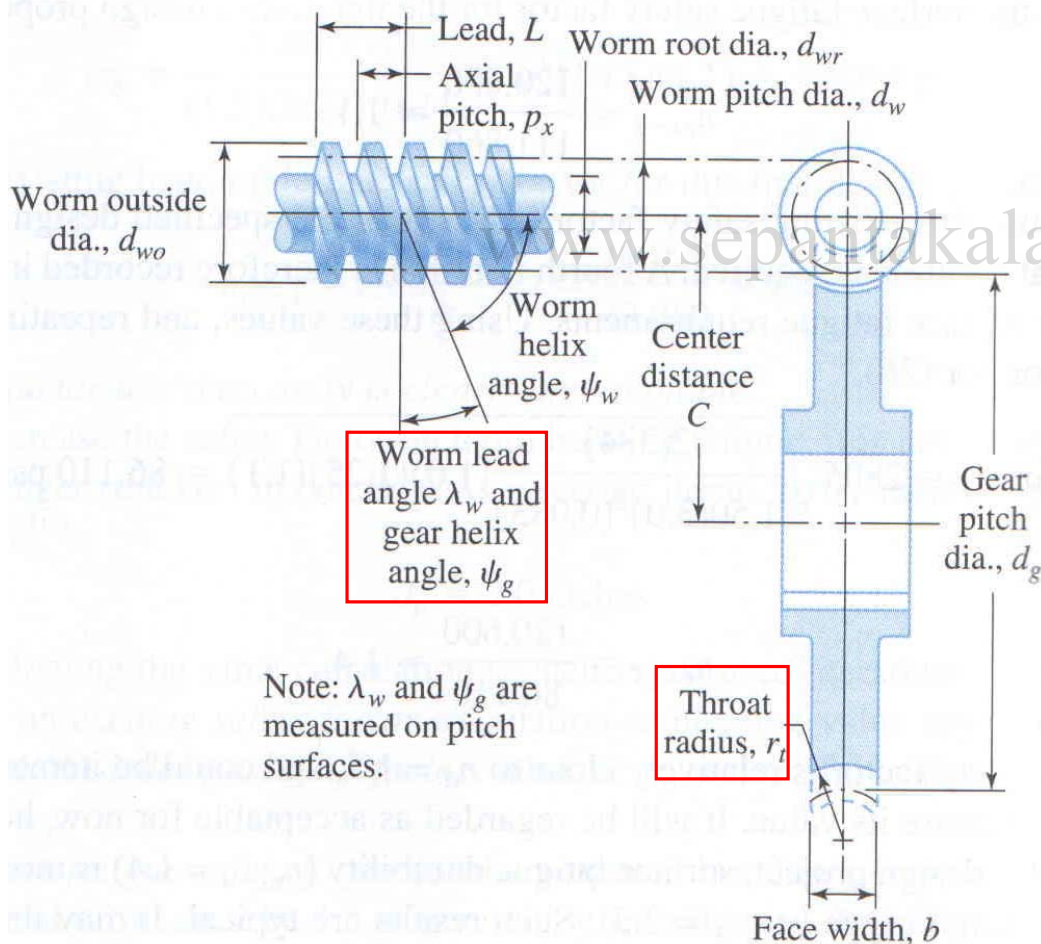


طراحی چرخ دنده های حلزونی (Worm gears)

– چرخ دنده های حلزونی: برای انتقال قدرت بین محورهای غیر موازی و غیر متقاطع (متناظر)

- حلزون شبیه: پیچ قدرت (Power screw)
- چرخ حلزون شبیه: چرخ دنده مارپیچ با سر دندانه گلوبی (throat) شکل برای درگیری بیشتر
- در صفحه چرخ حلزون: چرخ حلزون مانند یک چرخ دنده مارپیچ و حلزون مانند یک شانه دنده (rack)

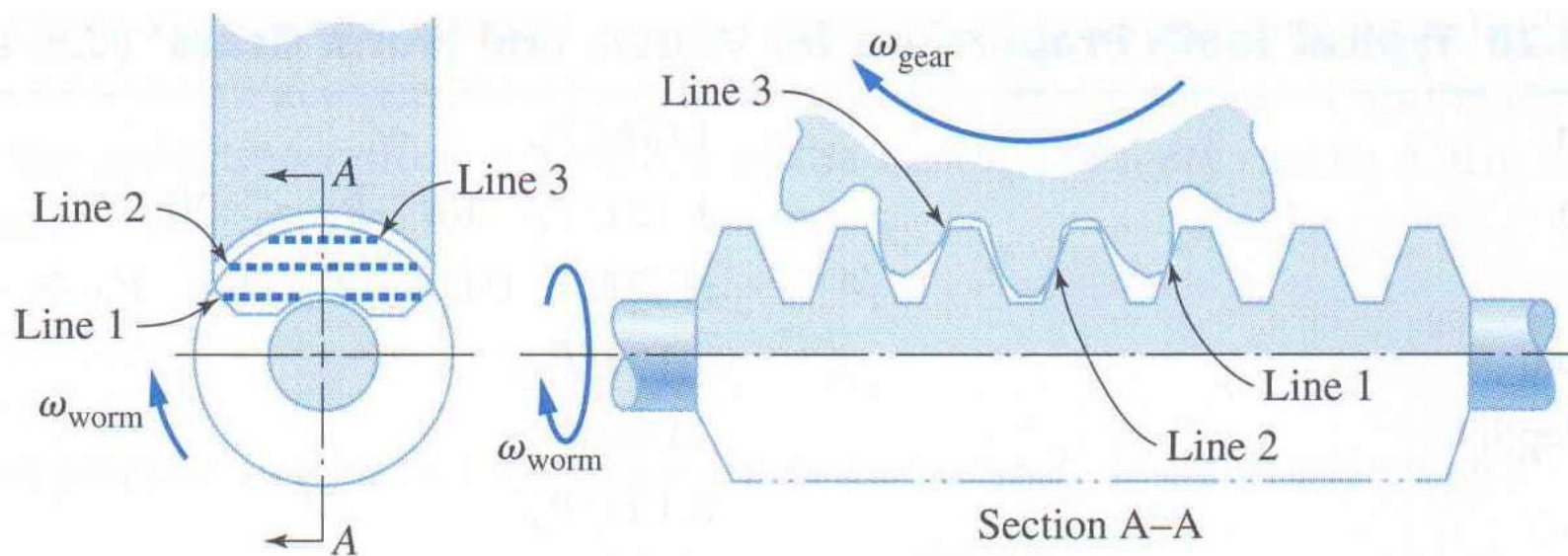


مشخصات انتقال حرکت توسط چرخ دنده های حلزونی

- قابلیت انتقال حرکت با نسبت سرعت های بالا:
 - زیرا با هر دور چرخش حلزون، چرخ حلزون فقط به اندازه یک یا چند دندانه می چرخد (بسته به تعداد راه های حلزون).
 - نسبت کاهش سرعت های متداول: $3.5:1$ تا $100:1$
 - نسبت کاهش سرعت هایی که می تواند وجود داشته باشد: $1:1$ تا $360:1$
- به علت درگیری دائمی دندانه های حلزون و چرخ حلزون، انتقال حرکت نرم و بدون ضربه است.
- به علت لغزش دندانه ها روی هم، مقداری از انرژی در اثر اصطکاک تلف می شود و دندانه ها گرم می شوند که باید با روغن خنک شوند.

سطوح تماس حلزون و چرخ حلزون

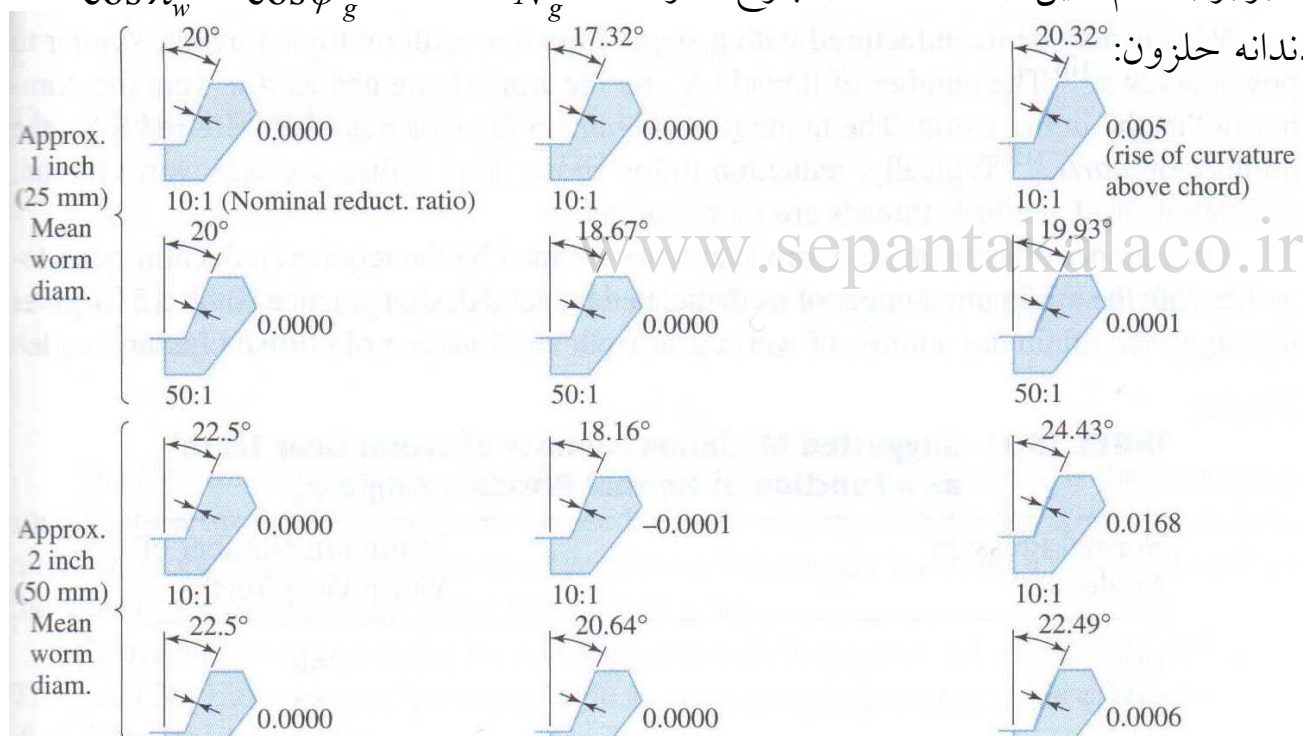
- در هر زمان، سه دندانه در شعاع های مختلفی از حلزون با چرخ حلزون درگیرند:
 - عرض این سطوح تماس متفاوت است.
 - نحوه توزیع بار بین دندانه ها در مقدار تنش ایجاد شده روی هر دندانه مؤثر است.
 - علاوه بر تنش های تماسی هرتز، سطوح دندانه تحت تنش برشی ناشی از نیروی اصطکاک هستند.
- در **اولین بار استفاده** از چرخ دنده های حلزونی، باید آنها را برای چند ساعت تحت **نصف بار طراحی** شده قرار داد تا سطوح آنها تحت کار سرد، فشرده شده و یکنواخت تر شوند.
 - این کار باعث کاهش ۱۵ درصدی نیروی اصطکاک می شود.



شکل دندانه های چرخ دنده های حلزونی

- دندانه های حلزون شبیه: دندانه های یک شانه دنده
- دندانه های چرخ حلزون شبیه: دندانه های یک چرخ دنده مارپیچ
- گام و زاویه فشار دو دندانه درگیر باید یکسان باشند.
- گام محوری حلزون برابر با: گام مایل (transverse) چرخ حلزون
- سه شکل متداول دندانه حلزون:

$$p_x = \frac{p_n}{\cos \lambda_w} = \frac{p_n}{\cos \psi_g} = p_c = \frac{\pi d_g}{N_g}$$



(a) Straight axial profile; cut using a straight-sided cutter in the axial plane.

(b) Straight normal profile; cut using a straight-sided cutter in the normal plane.

(c) Involute helicoid profile; cut using a straight-sided cutter or grinding wheel tilted to the worm lead angle and inclined to the chosen pressure angle.

ابعاد استاندارد چرخ دنده های حلزونی

– اندازه دندانه با گام قطری (diametral pitch) یا مدول (module) تعیین می شود:

$$p_d = \frac{N_g}{d_g}, \quad m = \frac{d_g}{N_g}$$

– ابعاد هندسی متداول برای چرخ دنده های حلزونی:

TABLE 15.20 Typical Tooth Proportions for Worms and Worm Gears¹ (U.S. units)

Addendum	$1.000/P_d$
Dedendum	$1.157/P_d$ for $P_d < 20$ $(1.200 + 0.002)/P_d$ for $P_d \geq 20$
Whole depth	$2.157/P_d$
Working depth	$2.000/P_d$
Clearance	$0.157/P_d$
Root diameter of worm	$d_w - (2.314/P_d)$ for $P_d < 20$ $d_w - (2.400 + 0.002)$ for $P_d \geq 20$
Outside diameter of worm	$d_w + (2.000/P_d)$
Root diameter of gear	$d_g - (2.314/P_d)$ for $P_d < 20$ $d_g - (2.400 + 0.002)/P_d$ for $P_d \geq 20$
Throat diameter of gear	$d_g + (2.000/P_d)$
Outside diameter of gear (approx.)	$d_w + (3.000/P_d)$

¹Compiled from ref. 28. Excerpted from ANSI/AGMA Standard 6022-C93, with the permission of the publisher, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314.

حلزون های چند راهه (Multi-thread)

- حلزون ها می توانند یک راهه یا چند راهه باشند.
- حلزون های چند راهه نسبت سرعت های پایین تری را ممکن می سازند.
- نسبت چرخ دنده (Gear ratio) یا نسبت کاهش (Reduction ratio):

$$m_G = \frac{N_g}{N_p} = \frac{N_g}{N_w} = \frac{\omega_w}{\omega_g}$$

- N_w : تعداد راه های حلزون
- توجه کنید که نسبت کاهش بستگی به **تعداد راه** های حلزون دارد، **نه قطر آن!**

— معمولاً:

- برای نسبت کاهش های بالای ۱:۳۰: حلزون یک راهه
- برای نسبت کاهش های پایین تر: حلزون های چند راهه

قطرهای حلزون و چرخ حلزون

- قطر دایره گام چرخ حلزون به تعداد دندانه آن، و از آنجا به نسبت کاهش، بستگی دارد.
- حداقل تعداد دندانه پیشنهادی برای چرخ حلزون، تابعی از زاویه فشار دندانه:

TABLE 15.21 Suggested Minimum Number of Worm Gear Teeth¹ as a Function of Normal Pressure Angle ϕ_n

Normal Pressure Angle, ϕ_n	Minimum Number of Worm Gear Teeth
$14\frac{1}{2}$	40
$17\frac{1}{2}$	27
20	21
$22\frac{1}{2}$	17
25	14
$27\frac{1}{2}$	12
30	10

www.sepantakala.co.ir

- مقدار عملی برای قطر گام حلزون (بر حسب اینچ):

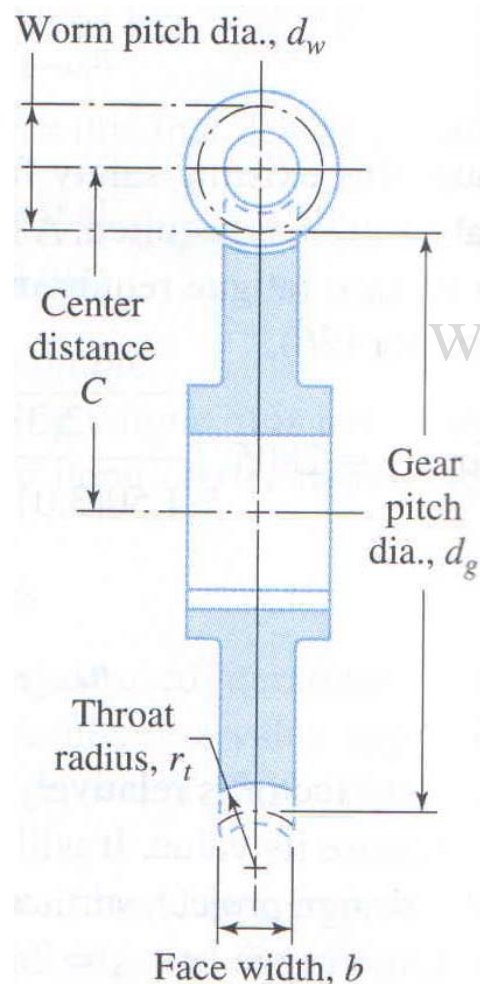
$$\frac{C^{0.875}}{3} \leq d_w \leq \frac{C^{0.875}}{1.6}$$

- فاصله مراکز محورهای حلزون و چرخ حلزون: $C = \frac{d_g + d_w}{2}$

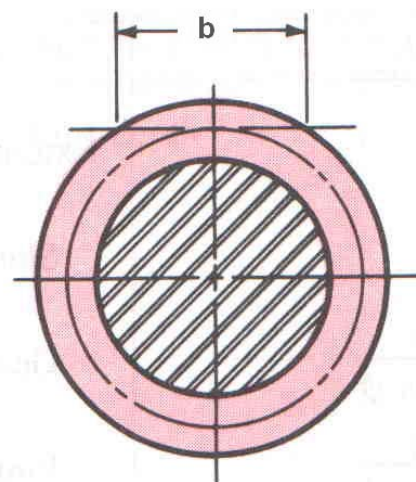
عرض چرخ حلزون

— برای توزیع متعادل بار در محل تماس دندانه ها، عرض یا رخ (face) چرخ حلزون نباید خیلی بزرگ باشد:

$$b \leq 0.67d_w$$



- بهتر است عرض چرخ دنده معادل وتری از دایره سر (addendum) حلزون که بر دایره گام حلزون مماس می شود، انتخاب شود:



www.sepantakalaco.ir

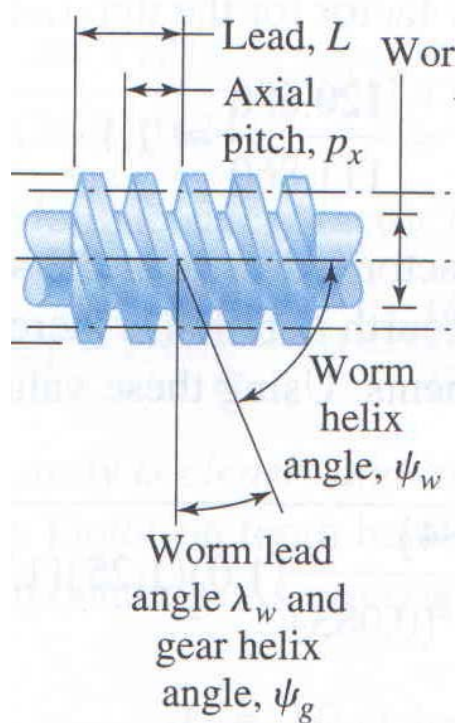
زاویه پیشروی حلزون

— مانند پیچ های قدرت، مقدار پیشروی (Lead):

- فاصله ای است که در امتداد محور حلزون طی می شود، وقتی که حلزون یک دور بچرخد.
- مقدار پیشروی بستگی به تعداد راه های حلزون دارد:

$$L_w = N_w p_x$$

- زاویه پیشروی، با مقدار پیشروی ارتباط دارد:



$$\tan \lambda_w = \frac{L_w}{\pi d_w}$$

- توجه کنید که زاویه پیشروی حلزون با زاویه مارپیچ چرخ حلزون برابر است:

$$\lambda_w = \psi_g$$

ارتباط زاویه پیشروی و زاویه فشار

- زاویه پیشروی حلزون در اکثر موارد کمتر از 45° است.
 - زوایای فشار مورد استفاده در حلزون ها، متنوع تر و غیر استاندارد هستند:
 - ابزارها زاویه فشار را در صفحه عمودی ایجاد می کنند.
 - زوایای فشار عمودی زیر متداولند:
- $14 \frac{1}{2}, 17 \frac{1}{2}, 20, 22 \frac{1}{2}, 25, 27 \frac{1}{2}, 30$

• ارتباط زاویه فشار در صفحات عمودی و مایل: $\tan \varphi_n = \tan \varphi_t \cos \lambda_w$

- بیشترین مقادیر پیشنهادی برای زاویه پیشروی بر حسب زاویه فشار به منظور جلوگیری از تداخل دندانه ها:

TABLE 15.22 Maximum Worm Lead Angle for Selected Pressure Angles

Pressure Angle φ_n , degrees	Maximum Lead Angle λ_w , degrees
$14\frac{1}{2}$	15
20	25
25	35
30	45

بررسی نیرویی چرخ دنده های حلزونی

— بررسی نیرویی چرخ دنده های حلزونی شبیه بررسی پیچ های قدرت است:

• حلزون \equiv پیچ قدرت

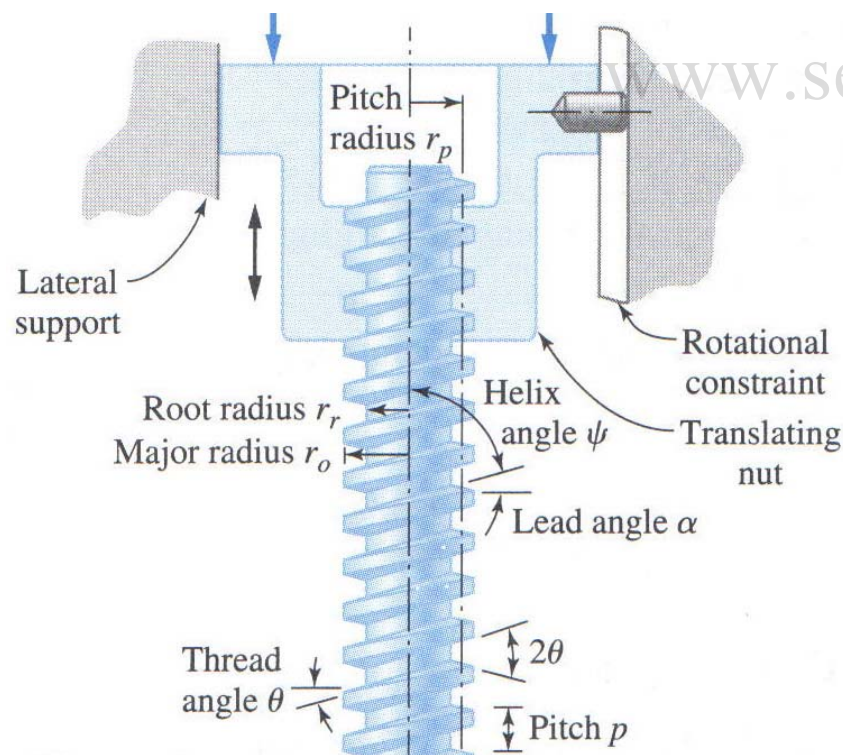
• چرخ حلزون \equiv مهره

— نیروهای عمل کننده بین دندانه های حلزون و چرخ حلزون:

• نیروهای تماسی عمودی (F_n) : در جهت عمود مشترک دو سطح حلزون و چرخ حلزون

• نیروهای اصطکاکی ناشی از لغزش (W_f) : در جهت مماس بر سطح دندانه ها

— پارامترهای مشابه پیچ قدرت و حلزون:



power screw lead angle $(\alpha) \equiv$

worm lead angle (λ_w)

power screw normal thread angle $(\theta_n) \equiv$

worm normal pressure angle (ϕ_n)

نمودار آزاد نیروهای روی حلزون (مشابه نمودار آزاد پیچ قدرت)

• تصویر نیروها در جهات مختلف (Shigley):

$$W^x = F_n \cos \varphi_n \sin \lambda + \mu F_n \cos \lambda$$

$$W^y = F_n \sin \varphi_n$$

$$W^z = F_n \cos \varphi_n \cos \lambda - \mu F_n \sin \lambda$$

- با توجه به عمود بودن امتداد حلزون و چرخ حلزون بر هم، جهات نیروهای مماسی (tangential)، شعاعی (radial) و محوری (axial) برای حلزون (w) و چرخ حلزون (g) متفاوت است:

$$W^x = F_{wt} = F_{ga}$$

$$W^y = F_{wr} = F_{gr}$$

$$W^z = F_{wa} = F_{gt}$$

