



دانشکده مهندسی مکانیک

پایاننامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان

**تحقیق پیرامون تاثیر لقی در ایجاد جریان های ثانویه در پمپ های گریزازمرکز**

استاد راهنما

دکتر میر بیوک احقاقی بناب

استاد مشاور

دکتر سید اسماعیل رضوی

پژوهشگر

محمد بهرامی قلعه جوق

مهر ۱۳۸۸

صلى الله عليه وسلم

## قدردانی

در اینجا لازم است از زحمات و راهنمایی های فراوان استاد ارجمندم جناب آقای دکتر میر بیوک احقاقی بناب در هدایت این پایاننامه تشکر نمایم.

همچنین از آقای دکتر سید اسماعیل رضوی به جهت ارائه مشاوره در انجام این پایاننامه کمال تشکر را دارم.

نام خانوادگی: بهرامی قلعه جوق	نام: محمد
عنوان پایان نامه: تحقیق پیرامون تاثیر لقی در ایجاد جریان های ثانویه در پمپ های گریزازمرکز	
استاد راهنما: دکتر میر بیوک احقاقی بناب	استاد مشاور: دکتر سید اسماعیل رضوی
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	گرایش: تبدیل انرژی
دانشگاه: تبریز	دانشکده: مهندسی مکانیک
تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۸/۷/۶	تعداد صفحات: ۸۰
کلید واژه ها: جریان های ثانویه، پمپ گریزازمرکز، لقی نوک، شبیه سازی عددی، هد پمپ، بازده پمپ، توزیع فشار.	
<p><b>چکیده:</b> در تحقیق حاضر، اثر لقی (فاصله موجود بین قسمتهای ثابت و دوار) در پمپ گریزازمرکز نوع 65-125 هنگام انتقال آب بصورت عددی و با استفاده از نرم افزار فلونتت بررسی شده است. ابتدا هندسه پمپ گریزازمرکز از نوع 65-125 با مقدار لقی برابر با ۵ میلیمتر با استفاده از نرم افزار گمبیت ترسیم و جریان تراکم ناپذیر پایا، سه بعدی و آشفته آب با استفاده از نرم افزار فلونتت شبیه سازی عددی شد. در شبیه سازی عددی از مدل آشفتگی RNG k-ε و برای حل معادلات حاکم بر جریان از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. همچنین به منظور ارزیابی اثر لقی بر روی عملکرد پمپ گریزازمرکز مذکور، پنج هندسه دیگر نیز با لقی های 0%، 80%، 90%، 110% و 120% لقی اصلی یعنی با مقادیر 0، 4، 4.5، 5.5، 6 میلی متر ایجاد شده و تحلیل گردید.</p> <p>در این بررسی مشاهده شد که با افزایش لقی، مقدار هد و بازده پمپ کاهش پیدا می کند. در داخل پاساژ جریان های ثانویه ضعیفی ایجاد می شود که با افزایش لقی شدت آن افزایش می یابد. همینطور بررسی محفظه حلزونی در دو حالت مختلف نشان داد که در حالتی که پمپ دارای لقی می باشد جریانهای ثانویه به مراتب قویتر از حالتی است که لقی صفر است.</p>	

## فهرست مطالب

مقدمه ..... ۱

### فصل اول: مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱- مقدمه ..... ۳

۲-۱- جریان‌های ثانویه ..... ۶

۱-۲-۱- تاثیر لایه مرزی ..... ۶

۲-۲-۱- جریان در کانالهای انحنادار ..... ۱۰

۳-۲-۱- عوامل ایجاد جریان ثانویه ..... ۱۳

۳-۱- بررسی پیشینه پژوهش ..... ۱۵

### فصل دوم: مواد و روشها

۱-۲- مقدمه ..... ۳۵

۲-۲- هندسه پمپ گریزازمرکز ..... ۳۵

۳-۲- شبکه بندی ..... ۳۸

۱-۳-۲- استقلال از شبکه ..... ۳۹

۴-۲- معادلات حاکم ..... ۴۲

۱-۴-۲- معادلات حاکم (محورهای لخت) ..... ۴۲

۴-۲- معادلات حاکم (محورهای چرخان) ..... ۴۳

۵-۲- جریان آشفته ..... ۴۴

۱-۵-۲- مدل آشفتگی ..... ۴۴

۲-۵-۲- مدل RNG K-ε ..... ۴۷

۵۲ ..... ۳-۵-۲- شرایط مرزی

### فصل سوم: نتایج و بحث

۵۵ ..... ۳-۱- مقدمه

۵۵ ..... ۳-۲- منحنی های H-Q

۵۵ ..... ۳-۳- منحنی های H-a

۵۶ ..... ۳-۴- منحنی های  $\eta$ -Q

۵۶ ..... ۳-۵- منحنی های  $\eta$ -a

۶۱ ..... ۳-۶- کانتورهای فشار استاتیک در نقطه بهترین بازده

۶۷ ..... ۳-۷- جریان ثانویه در چرخ متحرک

۷۱ ..... ۳-۸- جریان ثانویه در مقاطع مختلف حلزونی

۷۷ ..... ۳-۹- نتیجه گیری

۷۸ ..... ۳-۱۰- تحقیقات پیشرفته تر آینده راجع به جریان ثانویه

## فهرست علائم و اختصارات

سطح مقطع	A
لقی (فاصله بین قسمت های ثابت و متحرک پمپ)	a
پهنای گذرگاه	B
شتاب گریزاز مرکز	$b_z$
شتاب کوریولیس	$b_c$
سرعت مطلق	c
ضریب اصطکاک	$C_f$
قطر خارجی چرخ متحرک	$D_2$
قطر لوله خروجی	$d_2$
نیروی بدنی خارجی	F
شتاب گرانش	g
تولید انرژی جنبشی ناشی از شناوری	$G_b$
تولید انرژی جنبشی ناشی از گرادیان های سرعت متوسط	$G_k$
هد	H
هد تئوری	$H_{th}$
شدت آشتفگی	I
انرژی جنبشی جریان آشفته	k
طول	L
طول توسعه یافته	$L_e$
طول اختلاط	$L_t$

سرعت دورانی چرخ متحرک	$N$
سرعت مخصوص	$N_s$
فشار استاتیک	$P$
گرادیان فشار ایستای کاهش یافته	$P_{rs}$
نرخ جریان حجمی (دبی پمپ)	$Q$
نسبت دبی به دبی در نقطه بهترین بازده	$q = Q/Q_{BEP}$
مختصات شعاعی، شعاع چرخ متحرک	$r$
شعاع ورودی چرخ متحرک	$r_1$
شعاع خارجی چرخ متحرک	$r_2$
عدد راسبی	$Ro$
عدد راسبی تغییر یافته	$Ro_m$
شعاع انحنای مسیر	$R_{sl}$
عدد رینولدز	$Re$
ترم چشمه برای $k$	$S_k$
ترم چشمه در صورت وجود تغییر فاز	$S_m$
ترم چشمه برای $\varepsilon$	$S_\varepsilon$
سرعت محیطی	$U$
محیط خیس شده (لوله یا کانال)	$U$
بردار سرعت	$V$
سرعت اختلاط	$V_t$



سرعت نسبی سیال نسبت به چارچوبه مرجع چرخان	$\vec{v}_r$
سرعت نسبی	$w$
مولفه های سرعت در جهات مختلف	$u, v, w$
نوسانات سرعت در جهات مختلف	$u', v', w'$
مولفه های سرعت میانگین سیال	$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$
توزیع انبساط نوسانی در آشفتگی تراکم پذیر به نرخ اضمحلال کل	$Y_M$

### علائم یونانی

ثابت پیچش	$\alpha_s$
معکوس عدد پراتل برای $k$	$\alpha_k$
معکوس عدد پراتل برای $\varepsilon$	$\alpha_\varepsilon$
زاویه خروجی پره	$\beta_2$
اضمحلال	$\varepsilon$
بازده پمپ	$\eta$
بازده هیدرولیکی پمپ	$\eta_h$
لزجت دینامیکی	$\mu$
لزجت دینامیک آشفتگی	$\mu_t$
لزجت آشفتگی بدون اصلاح پیچش	$\mu_{t0}$
لزجت سینماتیکی	$\nu$

لزجت سینماتیکی آشفستگی	$\nu_t$
مشخصه عدد پیچش	$\Omega$
سرعت زاویه ای چرخ متحرک	$\omega$
چگالی	$\rho$
تانسور تنش	$\tau$
ورتیستته (گردابه)	$\xi$
زاویه جریان نصف النهاری نسبت به محور دوران	$\kappa$
عدد فشار	$\psi$
عدد	$\varphi$

## مقدمه

زندگی بشر با پدیده انتقال سیال گره خورده است و پمپ ها اغلب بخشی از یک سیستم پیچیده تر همچون قلب در بدن انسان یا پمپ آب در موتور خودرو می باشند که هرگونه مشکلی در کار پمپ ممکن است پیامدهای ناگواری برای آن پی داشته باشد. پمپ گریزازمرکز توربوماشینی است که انرژی مکانیکی را از یک موتور محرک مانند موتور الکتریکی گرفته و آن را تبدیل به انرژی سیال گذرنده از داخل ماشین می کند. واژه "توربو" یک لغت لاتین بوده و به معنای "چیزی که دوران کند" می باشد. تبادل انرژی در پمپ توسط چرخ که آن نیز شامل تعدادی پره است صورت می گیرد. میزان انرژی که سیال در داخل پمپ دریافت می کند کمتر از انرژی داده شده به موتور محرک است و دلیل آن افت های موجود همچون افت اصطکاکی و غیره می باشد. جریان سیال در پمپ دارای تئوری خاصی نبوده و بطور کلی تئوری جریان سیال در توربوماشین تا حدود زیادی متکی به آزمایش، نمودار و منحنی می باشد.

جریانهای ثانویه به دلیل اینکه باعث افت هد پمپ، ایجاد پروفیل غیر یکنواخت در جریان نصف النهاری، عامل جدایش جریان و مشارکت در لغزش جریان در چرخ هستند، کاملاً نامطلوب می باشند. از اینرو مطالعه این پدیده برای دستیابی به فهم بهتری از آن و اینکه جریانهای ثانویه چگونه رفتار کرده و از پارامترهای کاری و هندسی پمپ تاثیر می پذیرند، مورد توجه محققین می باشد.

از آنجائیکه حل تئوری جریان سه بعدی و آشفته در پمپ گریزازمرکز بسیار مشکل تقریبا غیر ممکن است، لذا برای بررسی جریان از روش های عددی که مهمترین آنها دینامیک سیالات محاسباتی می باشد، استفاده می گردد. در سالهای اخیر بواسطه پیشرفت صنعت نرم افزار و سخت افزار این امکان بوجود آمده است که بتوان جریان های بسیار پیچیده سیالات را در پمپ های گریزازمرکز که جزو هندسه های بسیار پیچیده می باشند مدلسازی کرد. البته بررسی عددی جریان در بیشتر تحقیقات بعلت پیچیدگی آن با ساده سازی هایی صورت گرفته است و تلاشهای زیادی برای مدلسازی دقیقتر جریان همچنان از موضوعات روز در توربوماشینها بشمار می رود.

در این پایان نامه به منظور بررسی اثر لقی در ایجاد جریان های ثانویه در پمپ گریزازمرکز از روش عددی استفاده شده است که مراحل انجام آن شامل موارد زیر است:

فصل اول، شرح مختصری از تئوری پمپ گریزازمرکز را ارائه می دهد و شامل مروری بر پژوهش های پیشین در رابطه با موضوع تحقیق حاضر می باشد.

فصل دوم، نحوه مدلسازی پمپ با هندسه های مختلف در نرم افزار گمبیت، شبیه سازی عددی جریان سه بعدی آشفته آب در نرم افزار فلوئنت ، معادلات حاکم بر جریان، مدل آشفتگی و روش حل مورد استفاده را بیان می کند.

فصل سوم نتایج حاصل از این تحقیق ارائه شده ، مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در آخر نتیجه گیری آورده شده است.

# فصل اول

مقدمه و پیشینه پژوهش

## ۱-۱- مقدمه

ساخت، تولید و کاربرد توربوماشین‌ها عملاً بعد از جنگ جهانی دوم و هنگامی گسترش یافت که پیشرفتهای علم آیرودینامیک، در این نوع ماشین‌ها نیز بکار گرفته شد و سرعت توربوماشین‌های با قدرت و راندمان بالا پا به عرصه صنعت گذاشتند و در بسیاری موارد ماشین‌های دیگر را از رده خارج نمودند.

در مقایسه با ماشینهای رفت و برگشتی، نبودن سیلندر و پیستون، حرکت رفت و آمدی و عدم نیاز به تبدیل حرکت از خطی به دورانی از یک طرف، و پیشرفت تکنولوژی ریخته‌گری و ماشین‌کاری و علوم متالوژی از طرف دیگر باعث شد که امکانات ساخت و تولید توربوماشین‌های با دوره‌های زیاد و قدرت قابل توجه در حجم کوچک بوجود آید و دامنه استفاده از توربوماشین‌ها در صنعت بطور چشمگیری افزایش یابد. در صنایع هواپیماسازی، توربوماشین‌های مادون صوت و مافوق صوت سرعت ماشین‌های سیلندریستونی را از رده خارج کردند و با استفاده از این ماشین‌ها هواپیماهای گول‌پیکر مسافربری و هواپیماهای جنگی با سرعت چندین برابر سرعت صوت ساخته شد. در شبکه‌های آبرسانی شهری، آبیاری و کشاورزی عملاً فقط از توربوپمپ‌ها برای انتقال آب یا بالا آوردن آن از چاهها استفاده می‌شود. این ماشین‌ها در صنایع فراوانی مثل صنایع نفت و پتروشیمی، صنایع غذایی، تاسیسات حرارتی و برودتی، سیستمهای هوای فشرده، حمل و نقل (در کشتی‌ها) و غیره بکار برده می‌شوند. بطور خلاصه کاربرد توربوماشین‌ها به دلیل مزایای اصلی زیر می‌باشد:

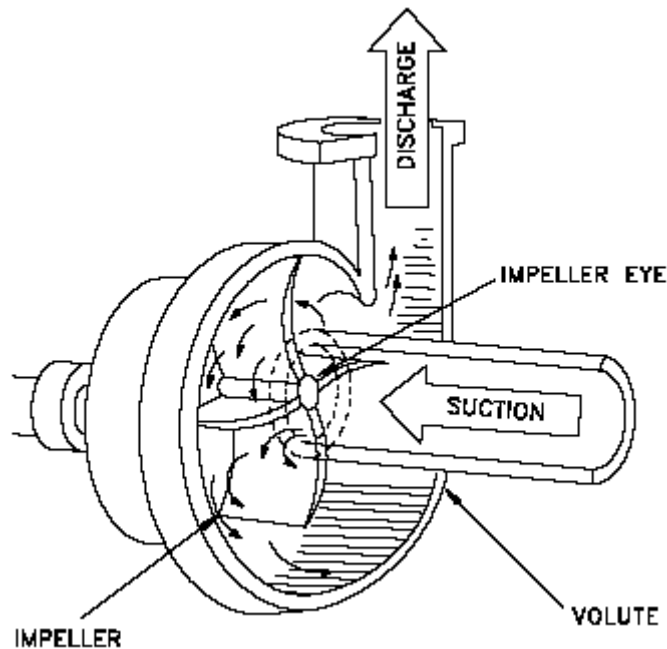
- انتقال قدرت بالا در حجم و وزن کم در مقایسه با سایر ماشین‌ها
- داشتن بازده بالا
- عدم نیاز به تبدیل حرکت رفت و آمدی به دورانی
- قیمت ارزان ماشین نسبت به قدرت مفید تولیدی
- دایمی بودن تبادل انرژی بین ماشین و سیال

امروزه متداولترین نوع پمپ در جهان و در کشور ما پمپی است که فیزیکدان فرانسوی پایین (۱۷۱۴-۱۶۴۷) به عنوان مخترع آن شناخته شده است و پمپ سانتریفوژ نام دارد. لازم به ذکر است که تئوری استفاده از نیروی گریزازمرکز جهت انتقال آب را دانشمند معروف لئوناردو داوینچی در قرن پانزدهم پیشنهاد کرد. قدیمی ترین این نوع پمپ که پره های آن چوبی و دارای دو انحنای می باشد در قرن هیجدهم در یکی از معادن مس پرتغال کشف شد و هم اکنون در موزه هنرهای ملی پاریس نگهداری می شود. قدمت این پمپ را به قرن پنجم میلادی نسبت می دهند [۷۰۶].

در این نوع از پمپ ها، همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است سیال موازی با محور وارد چرخ پمپ شده و عمود بر آن از آن خارج می شود. این پمپ ها معمولاً برای تولید فشارهای بالا در دبی های کم به کار می روند. چرخ متحرک پمپ دارای تعدادی تیغه<sup>۱</sup> می باشد که روی محوری سوار بوده و با دوران و ایجاد نیروی گریزازمرکز سیال را از مرکز آن به پره ها می رساند.

---

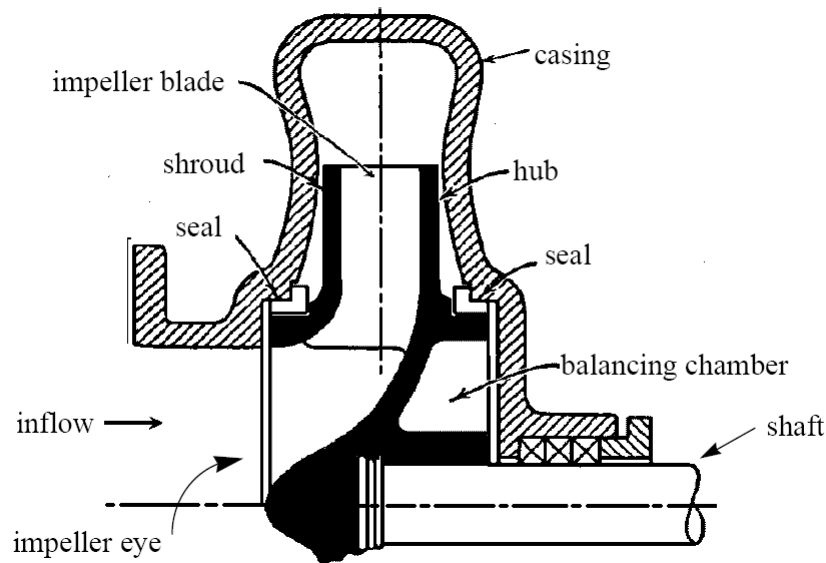
<sup>1</sup> Vane



شکل ۱-۱ مسیر حرکت سیال در پمپ [۱۲]

شکل (۱-۲) چرخ گریزازمرکز را نشان می دهد. این چرخ سیال را با فشار و سرعت بالاتری به طرف محیط چرخ متحرک و از آنجا به داخل جداره پمپ تخلیه نموده و موجب تبادل انرژی بین سیال و ماشین می گردد. باید بخاطر داشته باشیم که تبدیل انرژی در پره های یک چرخ متحرک تماما توسط سرعت داده شده به مایع، در اثر عمل گریزازمرکز صورت پذیرفته و جابجایی و ضربه وارده به ذرات مایع در این تبدیل اثری نخواهد گذاشت.





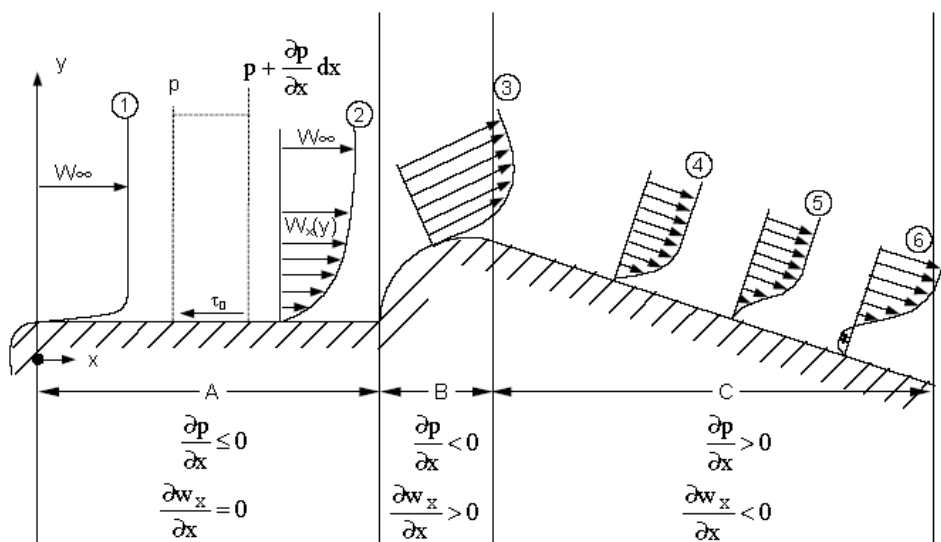
شکل ۲-۱ چرخ متحرک گریزاز مرکز [۲]

## ۲-۱- جریان های ثانویه

### ۱-۲-۱- تاثیر لایه مرزی

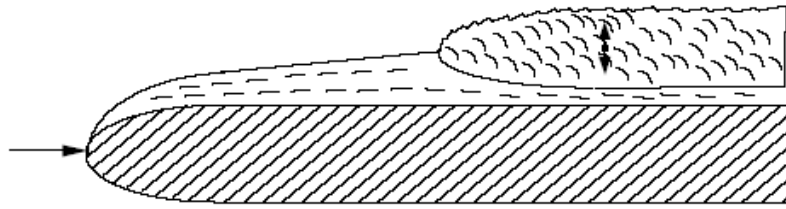
شکل ۳-۱ تکامل لایه مرزی دو بعدی را در یک کانال نشان می دهد. فرض کنید که کانال در محدوده  $A$  مقطع عرضی ثابتی دارد، بنابراین  $w$  ثابت بوده و  $\partial w_x / \partial x = 0$  می باشد. ضخامت لایه مرزی در ورودی به صفر میل کرده و با افزایش طول مسیر جریان، تکامل می یابد. لایه مرزی در ورودی از نوع آرام می باشد. با توجه به اینکه جریان اصلی آشفته است، لایه مرزی هم پس از طول معینی از مسیر جریان به آشفته تبدیل می شود اما زیر لایه آرام باز هم باقی می ماند. تبدیل لایه مرزی

از آرام به آشفته (که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است) به عواملی همچون عدد رینولدز، صافی سطح، اغتشاش جریان اصلی، گرادیان فشار و انحنای دیوار بستگی دارد.



شکل ۱-۳ لایه مرزی با گرادیان های فشار مثبت و منفی [۱]

اگر جریان شتاب گیرنده باشد (محدوده B در شکل ۱-۳) ،  $\partial P/\partial x < 0$  و  $\partial w_x/\partial x > 0$  ،  
 بوده و ضخامت لایه مرزی کاهش پیدا می کند. در جریان شتاب گیرنده افت هیدرولیک کمتری  
 دیده می شود. بیشترین مقدار تنش برشی دیواره در  $\partial P/\partial x < 0$  اتفاق می افتد و پروفیل های  
 سرعت کامل تر با شتاب افزایشنده به دست می آیند. بنابراین شتاب دادن به محفظه های ورودی چرخ  
 پمپ جریان یکنواخت تری ایجاد می کند.

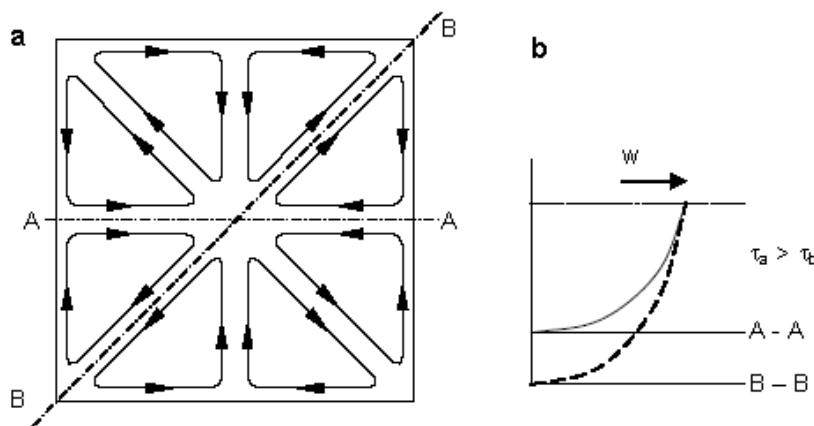


شکل ۴-۱ تبدیل لایه مرزی از آرام به آشفته [۱]

در جریان با شتاب کاهنده (محدوده C در شکل ۳-۱)  $\partial w_x / \partial x < 0$  و در نتیجه  $\partial P / \partial x > 0$  می باشد. ضخامت لایه مرزی افزایش یافته و تنش برشی دیواره کاهش می یابد و در نقطه معینی به صفر می رسد (پروفیل شماره ۵ در شکل ۳-۱). در این نقطه جریان از دیواره جدا می شود و کمی جلوتر در پایین دست باعث ایجاد جریان گردشی در لایه مرزی می شود (پروفیل ۶). به دلیل پدیده جدایش، جریان اصلی کوچک تر می شود و با توجه به کمتر شدن مقطع عرضی شتاب می گیرد. در پایین دست بواسطه تبادل مومنتم با wake درهم می آمیزد. این فرایندها منجر به افت های هیدرولیک بالا شده و باعث افت فشار استاتیک می شود.

اگر مقطع عرضی کانال غیر از دایروی باشد، توزیع سرعت به صورت دورانی-مقارن نخواهد بود و در قطرهای مختلف کانال پروفیل های متفاوتی خواهیم داشت. همانطور که در کانال مربعی شکل ۵-۱ پروفیل های سرعت متفاوتی در قطرهای A-A و B-B مشاهده می شود. در نتیجه همین

مسئله ، تنش برشی دیواره نیز در محیط کانال متغیر خواهد بود. تنش برشی در قطر B-B کمترین و در قطر A-A بیشترین مقدار را داراست.



شکل ۱-۵ جریان ثانویه در یک کانال مربعی (a) مقطع عرضی (b) توزیع سرعت در قطرهای A-A و B-B [۱]

از آنجا که فشار استاتیک (برای جریان در کانال مستقیم) در تمام مقطع عرضی ثابت است، معادله (۱-۱) تنها زمانی ارضا خواهد شد که سیال توسط جریان های جبرانی عمود بر محور کانال از مکانهای با تنش برشی کمتر به مناطق با تنش برشی بالاتر نقل مکان کند.

$$\Delta p = \tau U \Delta L = \rho c_f \frac{w^2}{2} U \Delta L \quad (U = \text{wetted perimeter}) \quad (1-1)$$

چنین جریان های ثانویه ای برای مثال در کانال های مستطیلی یا مربعی و از اینرو در چرخ یا دیفیوزر پمپ ها به وقوع می پیوندد. گردابه ها در گوشه های کانال و در بین پره ها و دیواره چرخ بوجود می آیند. اثر این گردابه ها را می توان زمانی که ذرات ساینده به همراه جریان وارد کانال شده و باعث فرسایش دیواره ها می گردند مشاهده کرد. همچنین این گردابه ها در پدیده کاویتاسیون هم