



دانشگاه زنجان



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی

مهندسی برق - قدرت

ورودی مهر ۸۷

## سیستم های خنک کننده نیروگاه (Cooling Tower)

استاد راهنما: دکتر سعید جلیل زاده

تهیه و تنظیم: حسین نصیری اوانکی

بهار ۹۱

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه..... ۲۰

طبقه بندی سیستم های خنک کننده

برج خنک کن تر

برج خنک کن خشک

### فصل دوم: برج های خنک کنندگی خشک..... ۱۳

برج Heller

مکانیزم و عملکرد برج Heller

اجزا تشکیل دهنده برج

مزایا و معایب برج خنک کن

### فصل سوم: چیلر..... ۲۵

چیلر های تراکمی

چیلر های جذبی

عملکرد اوابراتور

آزمایش نشت

صدای برج های خنک کن

### فصل چهارم: گرفتگی در برجهای خنک کن..... ۵۳

توصیف مکانیکی برج

توصیف فرایندی برج

## سیستم های خنک کنندگی نیروگاه

### فصل اول

#### ۱- مقدمه:

سیستم آب گردش، آب خنک کن مورد نیاز چگالنده را تأمین می کند و از این رو به صورت واسطه ای عمل می کند که توسط آن گرما از چرخه بخار به محیط دفع می شود. همچنین این سیستم آب خنک

کن مورد نیاز سالنهای توربین و مولد بخار، آب سیستم آتش نشانی، آب لازم برای مصارف عمومی

محوطه نیروگاه را که مقادیر آنها کم است تأمین می کند. در نیروگاه های هسته ای، علاوه بر موارد فوق،

این سیستم آب خنک کن مورد نیاز ساختمان رآکتور (برای خنک کردن مدار بسته آب خنک کنی که

جهت محدود کردن نشت مواد پرتوزا به محیط در نظر گرفته شده است)، آب لازم برای رقیق سازی و

دورریزی پسماندهای پرتوزای دفع شده از نیروگاه، و در صورت لزوم آب مورد نیاز برای دفع گرمای ناشی

از واپاشی پرتوزا را تأمین می کند. مجموع مقادیر این مصارف فرعی تقریباً ۵ درصد جریان آب خنک کن

در چگالنده است.

سیستم آب گردش باید گرما را به طور مؤثر به محیط دفع کند و در عین حال با مقررات دفع گرما به

محیط سازگار باشد. عملکرد خوب این سیستم در بازده نیروگاه اثر حیاتی دارد زیرا چگالنده ای که در

پایین ترین دمای ممکن عمل می کند، موجب بیشینه شدن کار توربین و بازده نیروگاه و کمینه شدن

دفع گرما از نیروگاه می شود. از این رو، یک سیستم دفع گرمای خوب کار خود را آسان تر انجام می

دهد، یعنی دفع گرمای آن کم است و حجم آن کوچکتر و آب خنک کن مورد نیازش نیز کمتر است.

مقدار گرمایی که توسط سیستم آب گردش دفع می شود از گرمای تبدیل شده به کار مفید در چرخه

بخار بیشتر است. مقدار گرمای دفع شده در نیروگاه های در حال کار کنونی، اعم از نیروگاه های قدیمی

یا جدید، ۱/۵ تا ۳ برابر کار مفید خروجی از این نیروگاه ها است. مقدار گرمای دفع شده را می توان از

رابطه زیر به دست آورد:

$$Q_R = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) W \quad (1-1)$$

که در آن  $Q_R$  آهنگ دفع گرما،  $W$  توان و  $\eta$  بازده چرخه است. برای نشان دادن میزان تأثیر  $\eta$  بر  $Q_R$

می توان نیروگاه های با  $W$  یکسان، مثلاً  $1000 \text{ MW}$ ، را با همدیگر مقایسه کرد (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱ تأثیر بازده چرخه بر گرمای دفع شده در یک نیروگاه  $1000 \text{ MW}$

$Q_R / W$	$Q_R$	$\eta$	$W$
۴/۰	۴۰۰۰	۰/۲۰	۱۰۰۰
۳/۰	۳۰۰۰	۰/۲۵	۱۰۰۰
۲/۰	۲۰۰۰	۰/۳۳	۱۰۰۰
۱/۵	۱۵۰۰	۰/۴۰	۱۰۰۰
۱/۰	۱۰۰۰	۰/۵۰	۱۰۰۰

بازده های مندرج در ردیف اول و آخر جدول به ترتیب مربوط به یک نیروگاه صنعتی کوچک قدیمی و

نیروگاه پیشرفته ای است که امید می رود در آینده ساخته شود.  $\eta = 0/25$  بازده نیروگاه های قدیمی

است که برخی از آنها در حال کار هستند.  $\eta = 0/33$  مربوط به بازده نیروگاه های هسته ای موجود است

که رآکتور آنها از نوع آب تحت فشار یا آب جوشان است. بازده نیروگاه جدید فسیلی که دمای بالایی

دارند و نیروگاه های هسته ای با رآکتور خنک شونده با گاز یا با رآکتور زاینده سریع در حدود ۴۰ درصد

است. با توجه به جدول می توان مشاهده کرد که افزایش بازده به میزان ۸ درصد یعنی مثلاً از ۲۵ تا ۳۳

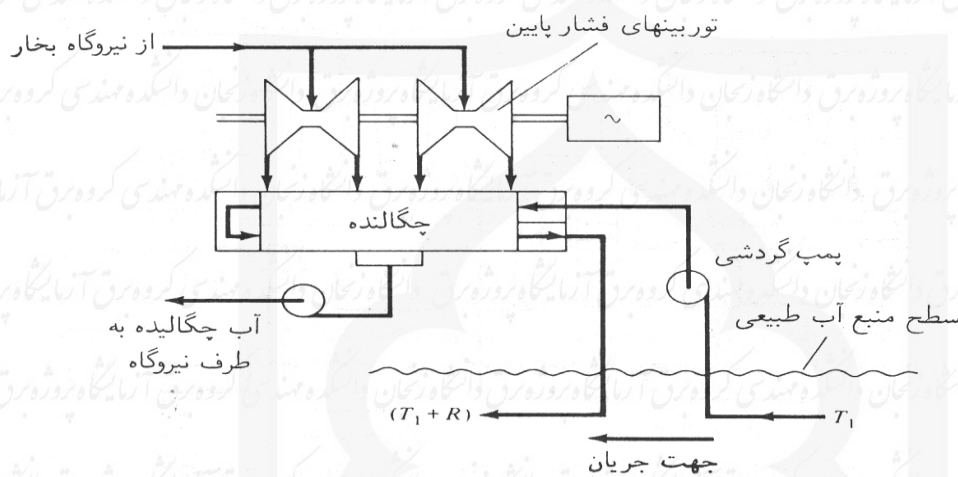
درصد، موجب صرفه جویی به میزان ۳۳ درصد در دفع گرما می شود، در صورتی که افزایش بازده به

میزان ۷ درصد یعنی از ۳۳ درصد تا ۴۰ درصد موجب صرفه جویی به میزان ۲۵ درصد در دفع گرما می

شود.

### ۱-۲ طبقه بندی سیستم:

سیستم های آب گردش به سه نوع (۱) یکبار گذر، (۲) مدار بسته و (۳) سیستمهای مرکب تقسیم بندی می شوند.



شکل (۱-۱): طراحی از یک سیستم آب گردش یکبار گذر

### ۱-۲-۱ سیستمهای یکبار گذر:

در سیستم های یکبار گذر، آب از یک منبع طبیعی آب مانند دریاچه، رودخانه، یا اقیانوس گرفته می

شود و به وسیله پمپ در لوله های چگالنده جریان می یابد، و ضمن عبور از لوله گرم می شود و سپس به

همان منبع تخلیه می شود. (شکل ۱-۱)

دفع گرما به روش خنک شدن یکبار گذر از لحاظ ترمودینامیکی مؤثرترین روش دفع گرما به شمار می

رود. در این روش از یک چاهک گرمای دمای پایین که در محل نیروگاه در دسترس است استفاده می

شود. اما در مواردی که آب کمیاب است و یا مقررات زیست محیطی مصرف آبهای سطحی یا مقدار

گرمایش آنها را محدود می کند، لازم است از سیستمهای مدار بسته که نسبت به سیستم یکبار گذر

کارایی کمتری دارند استفاده شود.

### ۱-۲-۲ سیستمهای مدار بسته:

آب در سیستمهای مدار بسته از چگالنده گرفته می شود و پس از گذشتن از دستگاه خنک کن دوباره به

چگالنده باز می گردد. غالباً بین دستگاه خنک کن و چگالنده منبعی قرار می گیرد. هنوز هم یک منبع

آب طبیعی، برای تأمین آب جبرانی و جایگزینی اتلاف آب در نتیجه تبخیر در فرایند خنک شدن و نیز

تخلیه آن، مورد نیاز است. چندین نوع دستگاه خنک کن در سیستمهای مدار بسته مورد استفاده قرار می

گیرند که عمده ترین آنها:

برجهای خنک کن است که ممکن است از نوع تر، نوع خشک یا نوع مرکب تر و خشک باشد. برج خنک

کن خشک کارایی کمتری را نسبت به سایر روش های دفع گرما دارد ولی نیازمند آب جبرانی نیست و از

این رو برای مناطق بی آب و یا در جاهایی که مصرف آبهای طبیعی مطلقاً ممنوع است مناسب است.

همچنین برجهای خنک کن به دو نوع برج خنک کن با جریان طبیعی یا جریان مکانیکی تقسیم می

شوند. به برج خنک کنی که در مدار بسته عمل می کند می گویند به روش بسته کار می کند.

### الف - برجهای خنک کن تر:

برجهای خنک کن تر گرمای دفع شده توسط نیروگاه را از طریق مکانیسمهای زیر به محیط منتقل می

کنند: (۱) افزودن گرمای محسوس به هوا و (۲) تبخیر بخشی از آب گردشی. وقتی که برج به روش باز

عمل می کند، مکانیسم سوم نیز وجود دارد که عبارت است از: (۳) اضافه کردن گرمای محسوس به

منبع طبیعی آب از طریق اختلاف دمای نهایی (TTD).

برجهای خنک کن تر دارای یک سیستم توزیع آب است که آب را به طور یکنواخت روی شبکه ای متشکل از میله های افقی نزدیک به هم به نام پکینگ می افشانند. پکینگ موجب اختلاط کامل آب و هوا

می شود و این عمل هنگامی صورت می گیرد که هوا از پکینگ جریان می یابد و آب در نتیجه نیروی

ثقل از یک پکینگ به پکینگ دیگر می ریزد. هوای بیرون از طریق دریچه های هوا که به شکل مجاری

کوچک افقی هستند و در جوانب برج قرار دارند وارد برج می شود. این مجاری معمولاً شیبی متمایل به

پایین دارند تا آب در داخل برج بماند. اختلاط کامل آب و هوا، انتقال گرما و جرم را (از طریق تبخیر)

تشدید می کند و این موجب خنک شدن آب می شود. آنگاه آب سرد در یک حوضچه بتونی در ته برج

جمع می شود و از آنجا توسط پمپ به چگالنده (در روش بسته یا کمک رسان) یا به منبع طبیعی آب (در

روش باز) باز می گردد. هوای گرم و مرطوب از قسمت فوقانی برج خارج می شود.

با استفاده از برجهای خنک کن، مقدار آب مورد نیاز حداقل تا ۷۵ بار کاهش می یابد که مزیتی آشکار

برای برج خنک کن محسوب می شود، اما این کار به بهای سرمایه گذار بیشتر، زمین بزرگتر، و هزینه

های کارکردی بیشتر تمام می شود و علاوه بر اینها برجها موجب سر و صدا و کاهش دید نیز می شوند. با

وجود این مسائل، مقررات زیست محیطی و آلودگی گرمایی ناشی از سیستمهای یکبارگذر، و کمیابی

روزافزون منابع قابل اعتماد و طبیعی آب در بیشتر نقاط جهان، استفاده هر چه بیشتر از برجهای خنک

کن را در نیروگاه ها الزامی می کنند و لازم به یادآوری مجدد است که سیستم یکبارگذر، در صورت در

دسترس بودن منابع طبیعی آب، سیستمی با بازده بالا و برتر به شمار می رود.

برجهای خنک کن تر، به دو نوع (۱) برج خنک کن با جریان مکانیکی هوا یا (۲) برج خنک کن با جریان

طبیعی هوا تقسیم می شوند. هر یک از این برجها به دو نوع (۱) برج خنک کن جریان همسو یا (۲) برج

خنک کن جریان متقاطع تقسیم می شود.

**برجهای خنک کن با جریان طبیعی هوا:**

برجهای خنک کن با جریان طبیعی هوا در اروپا ابداع شدند. اولین آنها برج خنک کن چوبی بود که در

اوایل قرن بیستم در هلند ساخته شد. بعداً در ساخت آنها به جای چوب از فولاد استفاده شد و امروزه آنها

را از بتون تقویت شده می سازند. قبلاً این برجها به صورت تقریباً استوانه ای شکل ساخته می شدند که قسمت فوقانی آنها به شکل مخروط ناقص وارونه بود، ولی امروزه این برجها به شکل هذلولی دوار ساخته می شوند. از این برجها در انگلستان به طور وسیعی استفاده شده است. در ایالات متحده، اولین برج از این نوع در سال ۱۹۷۲ ساخته شد، و از آن به بعد تعداد این نوع برجها به طور چشمگیری افزایش یافته است. در برجهای خنک کن با جریان طبیعی هوا به دمنده ها نیازی نیست و در آنها جریان ها به فشار محرک طبیعی ناشی از اختلاف چگالی هوای سرد بیرون برج و هوای گرم و مرطوب داخل برج بستگی دارد. از این رو، برجهای خنک کن با جریان طبیعی بسیار بلند هستند و ارتفاع آنها غالباً به چند صد فوت می رسد. بدنه برج واقع در بالای سیستم توزیع آب پکینگ، به صورت پوسته توخالی با مقطع دایره ای است ولی نمای عمودی آب به شکل هذلولی است. از این رو برج خنک کن با جریانهای طبیعی را برج هذلولی نیز می نامند. ثابت شده است که نمای هذلولی استحکام بیشتری دارد و در مقایسه با سایر اشکال بیشترین مقاومت را در مقابل نیروی باد خارجی (فشار ناشی از بادهای شدید) نشان می دهد. به این ترتیب، در ساخت برج هذلولی به طور قابل توجهی به مقدار ماده کمتری نیاز است و ضخامت آن در قسمت کمر اندک و برابر ۶ تا ۷ اینچ است. برجهای خنک کن با جریان طبیعی از بتون تقویت شده ساخته می شوند، در ساخت آنها مقدار بسیار زیادی بتون به کار می رود، و روی ستونهای نگهدارنده مورب واقع در حوضچه کم عمق آب قرار می گیرند. این برجها از دور منظره ای چشمگیر دارند و خود نیروگاه در مقابل آن کوتاه به نظر می آید (شکل ۱-۲)

### ب- برجهای خنک کن خشک:

برج خنک کن خشک به برجی گفته می شود که در آن آب گردشی از داخل لوله های پره دار می گذرد و هوای خنک کن از روی لوله ها عبور می کند. بنابراین همه گرمای دفع شده از آب گردشی به صورت گرمای محسوس به هوای خنک کن داده می شود. برج خنک کن خشک ممکن است از نوع جریان مکانیکی و یا از نوع جریان طبیعی باشد.



برجهای خنک کن در سالهای اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. با استفاده از این برجهای محل نیروگاه

را می توان بدون توجه به وجود منابع بزرگ آب خنک کن انتخاب کرد. در نتیجه، نیروگاه را می توان یا

در نزدیکی منابع غنی سوخت احداث کرد که در این صورت هزینه های حمل و نقل سوخت از بین می

رود و یا در نزدیکی مراکز توزیع بار که در این صورت هزینه های انتقال برق از میان می رود. همچنین با

استفاده از برج خنک کن خشک می توان نیروگاه موجودی را که به دلیل عدم وجود منابع آب کافی

امکان توسعه نداشت، توسعه داد. مزایای دیگر برج خنک کن خشک عبارت است از: هزینه نگهداری آن

نسبت به برج تر کمتر است و مانند برج تر به مقدار زیادی مواد شیمیایی و تمیز کردنهای متناوب نیاز

ندارد. عیب عمده برج خنک کن خشک این است که کارایی آن به اندازه برج تر نیست و در نتیجه با

استفاده از این نوع برج پس فشار توربین بیشتر، بازده چرخه نیروگاه کمتر، و دفع گرما بیشتر می شود.

برجهای خنک کن خشک، با محدودیت های روزافزونی که مقررات زیست محیطی بر آلودگیهای ناشی از

سیستمهای یکبارگذر و برجهای خنک کن تر اعمال می کند اهمیت بیشتری می یابند. این آلودگیها

عبارتند از: آلودگی گرمایی سیستمهای یکبارگذر، آلودگی تخلیه، و مسئله مه گرفتگی و یخ زدگی ناشی

از برجهای تر که این دو نوع اخیر در بعضی مناطق موجب بروز خطراتی می شوند.

برجهای خنک کن خشک، معمولاً از چندین طرح برای خنک کردن دمای آب واحد بخار استفاده می

کنند. در این پروژه به ذکر یکی از این طرح ها که در ادامه با کاربرد آن بیشتر آشنا می شویم، بسنده

شده است.

در این طرح از چگالنده باز یا تماس مستقیم استفاده می شود (این نوع چگالنده را چگالنده جتی یا

افشانه ای نیز می گویند). چون همه برجهای خنک کن خشک به روش بسته کار می کنند، ناخالصیهای

جو یا آبهای سطحی از طریق آب جبرانی وارد سیستم نمی شوند و لذا آب گردش می تواند با بخار خارج

شده از توربین در یک چگالنده باز مخلوط شود. بخار خروجی توربین وارد چگالنده باز می شود و در آنجا

آب گردش سرد، جهت برقراری تماس نزدیک با بخار، به داخل بخار افشانه می شود. آب چگالیده به ته

چگالنده می ریزد و بخش مهمی از آن به وسیله یک پمپ گردش با فشار خروجی مثبت از لوله های پره

دار یا کویل‌های واقع در برج عبور می‌کند. این مقدار آب پس از خنک شدن به افشانه های چگالنده باز

می‌گردد. بقیه آب چگالیده که معادل جریان جرمی بخار است به وسیله پمپ آب چگالنده به سیستم

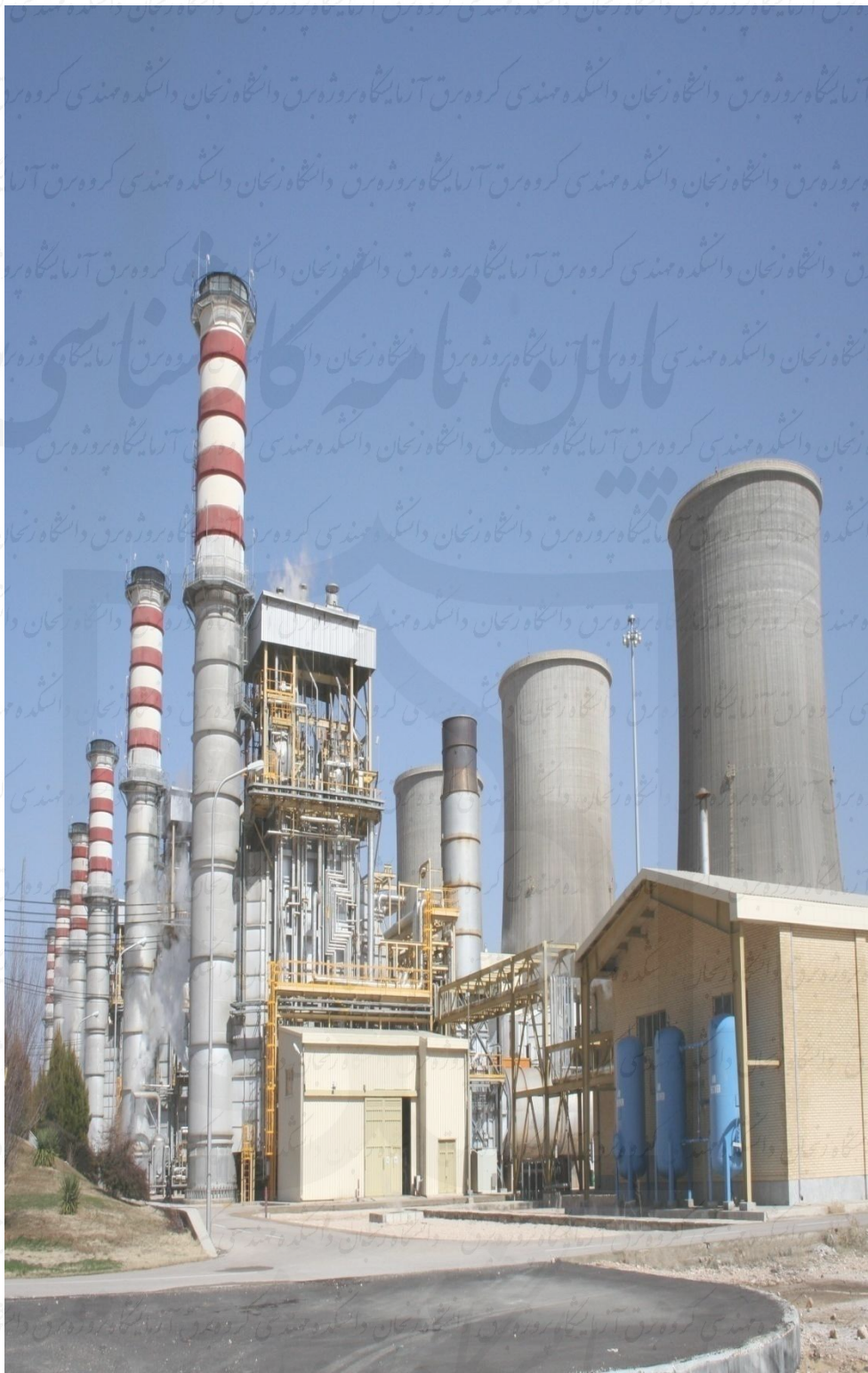
آب تغذیه نیروگاه پمپ می‌شود. در اینجا نیز برج ممکن است از نوع جریان طبیعی یا جریان اجباری

باشد. نسبت آب گردشی به آب تغذیه زیاد است. دستگاه دیگری که به دلخواه می‌توان از آن استفاده

کرد، توربین بازیافت انرژی آب است که بین خروجی برج و ورودی چگالنده قرار می‌گیرد و این توربین

به محور رانشی پمپ آب گردشی متصل است تا بخشی از کار پمپ را بازیافت کند. انتظار می‌رود که

استفاده از سیستم غیرمستقیم در نیروگاه های بزرگ، کارآمدتر، اقتصادی تر، و عملی تر باشد.



منابع :

[1] Fundamentals, Application, and Operation (Mechanical Engineering (Marcell Dekker))

by: Herbert W. Stanford III

[2] Large cooling towers, the present trend

.۵۵, M. Diver, A.C. Paterson, the structural engineering, vol

:۱۳۴-۵۴۴ oct, (1977), P.P

[3] Power Plants and Power Systems Control 2006 abbasvatankhah

[4] کتاب: چیلرها راهنمای صنعتی و کاربردی شرکت ترنی. مترجم: مهندس رضا لاهوتی

[5] HVAC Water chillers and cooling towers (by: Herbert W. Stanford)

[6] Experimental Analysis of the Influence of Imposed Displacement at the base of cooling

tower on its bucking stability", R.kalaza & J. M.Gigel, thin wall structure, 1995 - PP:367-378

[7] [www.daneshju.ir](http://www.daneshju.ir)

[8] [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

[9] [www.citec.com](http://www.citec.com)