

## شبیه‌سازی عددی تخلیه آبراهه نیروگاه‌های برقابی از طریق توربین

پوریا اکبرزاده\*

### چکیده

در نیروگاه‌های برقابی، به‌ویژه در واحدهایی با آبراهه طولانی و مخازن موج‌گیر غول‌پیکر، که داخل آنها حجم زیادی از آب انباشته می‌شود، تخلیه سریع و مطمئن این حجم آب از آبراهه در هنگام تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای یا اجباری یکی از مسائل مهم و درخور توجه است. یکی از روش‌های سنتی تخلیه آبراهه چنین نیروگاه‌هایی، استفاده از لوله‌های تخلیه‌ای است که به «پنستاک» متصل شده و به کمک شیرآلات تنظیمی و فشار شکن، آب را به سمت گالری تخلیه هدایت می‌کند. بزرگ بودن ابعاد آبراهه و مخازن موج‌گیر از یک سو و حجم قابل توجه آبی که در این مجموعه ذخیره شده است از سوی دیگر، باعث طولانی شدن زمان تخلیه با این روش شود و حتی این نحوه تخلیه در برخی موارد ممکن است چندین روز طول کشد. برای کاهش این زمان، به تازگی روش دیگری نیز در نیروگاه‌های برقابی بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش؛ تخلیه آب از طریق توربین با گشودن جزئی دریچه‌های تنظیمی است. در روش یاد شده که با دوران چرخ توربین همراه است، حجم قابل توجهی از آب در زمانی بسیار کم به پایین‌دست نیروگاه هدایت می‌شود. با وجود مزیت کاهش زمان تخلیه، در استفاده از این روش، ملاحظه‌های خاصی؛ مانند: کنترل سرعت توربین، عملکرد یاتاقان‌ها، ارتعاش‌های واحد و عملکرد چرخ توربین باید در نظر گرفته شود. در این تحقیق، روش تخلیه آبراهه از طریق توربین با مدل‌سازی ریاضی و عددی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. میزان «افزایش سرعت چرخ توربین» زمان تخلیه در گشودگی‌های مختلف دریچه‌های تنظیمی و عملکرد «هیدرولیکی توربین» نیز از موارد فنی است که مورد تحلیل و محاسبه‌های عددی ریاضی قرار می‌گیرد. این روش برای نیروگاه برقابی در دست احداث سیمره که بزرگ بودن ابعاد آبراهه و مخزن موج‌گیر از مشخصه‌های آن است، به عنوان نمونه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

### واژه‌های کلیدی

نیروگاه برقابی، تخلیه از طریق توربین، افزایش سرعت، دریچه‌های تنظیمی، نمودار عملکرد.

\* استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، کارشناس و مشاور فنی شرکت فراب.

## مقدمه

طراحی و ساخت نیروگاه‌های برقابی به عنوان یکی از انواع واحدهای تولید برق در کشورهایی که پتانسیل آبی خوبی دارند، همواره مورد توجه دولت‌ها در حوزه سیاست‌گذاری انرژی قرار داشته است. با وجود این‌که از سویی این نیروگاه‌ها نیازمند احداث سد و تجهیزات هیدرومکانیک مرتبط با آن هستند و از سوی دیگر، اجرای آنها محتاج زمان و هزینه بالایی است، اما به دلایل زیر در سراسر جهان مقبولیت قابل توجهی دارند: (۱ و ۲)

۱. ناچیز بودن اثرهای مخرب زیست محیطی؛

۲. تنظیم سریع فرکانس شبکه سراسری برق؛

۳. استفاده از آب ذخیره شده در پشت سدها برای

مصارف کشاورزی و آشامیدنی؛

۴. بالا بودن عمر مفید آنها (بیش از ۵۰ سال)؛

۵. عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی؛

۶. بازده بسیار بالا (بیش از ۹۴ درصد)؛

۷. کم بودن نرخ خروج اضطراری واحدها از شبکه

سراسری برق؛

۸. کم بودن متوسط سالیانه زمان تعمیرات (حدود ۱۵

روز در سال)؛

۹. پایین بودن مصارف تجهیزات داخلی واحدها (حدود

۰/۳ درصد).

در نیروگاه‌های برقابی، به ویژه در واحدهایی که آبراهه‌ای (Waterway) طولانی و مخازن موج‌گیری (Surge tank) با ابعاد بزرگ دارند و حجم قابل توجهی از آب داخل آنها ذخیره می‌شود، تخلیه آبراهه در زمان تعمیرات و بازرسی‌های دوره‌ای یا اجباری یکی از مسائل مهم و درخور توجه است.

یکی از روش‌های سنتی و رایج تخلیه آبراهه در چنین

نیروگاه‌هایی، استفاده از لوله‌های تخلیه متصل به پنستاک

(Penstock) و یک‌سری شیرآلات تنظیمی و فشارشکن است که آب را به سمت استخر تخلیه (Dewatering sump) هدایت می‌کند. ابعاد بزرگ آبراهه و مخازن موج‌گیر که حجم بالایی از آب را در خود جای داده است، باعث می‌شود که تخلیه با روش یادشده در زمانی طولانی انجام گیرد. برای کاهش این زمان، به تازگی روش دیگری در نیروگاه‌های برقابی بزرگ استفاده می‌شود. این روش، تخلیه آب از طریق توربین به کمک گشودن مقدار کمی از دریچه‌های تنظیمی (Wicket gates) است. در این روش، بعد از بستن دریچه ورودی مخزن بالادست سد، حجم قابل توجهی از آب (تا حد ارتفاعی معینی که هیدرولیک توربین اجازه می‌دهد) در زمانی بسیار کم از طریق مسیر توربین، همراه با دوران چرخ توربین (Runner) به پایین دست نیروگاه هدایت می‌شود.

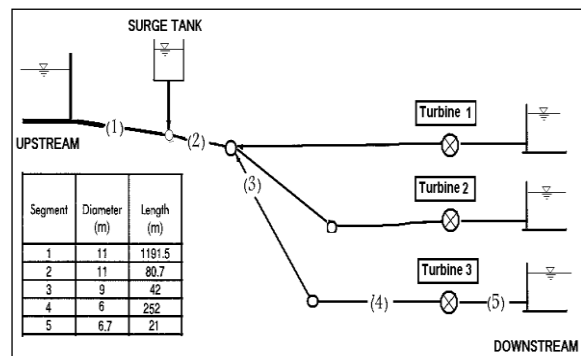
با وجود مزیت کاهش زمان تخلیه، در استفاده از این روش لازم است که ملاحظه‌های ویژه‌ای؛ مانند: کنترل سرعت توربین، عملکرد یاتاقان‌های هادی (Guide bearing) ارتعاش‌های واحد و عملکرد چرخ توربین در نظر گرفته شود.

با عنایت به این مزیت، در تحقیق پیش روی، روش تخلیه آبراهه از طریق توربین با مدل‌سازی ریاضی و عددی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. میزان افزایش سرعت چرخ توربین، زمان تخلیه در گشودگی‌های مختلف دریچه‌های تنظیمی و عملکرد هیدرولیکی توربین، از موارد فنی است، که در این مقاله مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. این روش برای نیروگاه برقابی در دست احداث سیمره، که بزرگ بودن ابعاد و طولانی بودن مسیر آبراهه و مخزن موج‌گیر از مشخصه‌های منحصر به فرد آن است، به عنوان نمونه‌ای واقعی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

### نیروگاه سیمره

نیروگاه برقی سیمره با سه واحد نیروگاهی به ظرفیت تولیدی نامی ۱۶۰ مگاوات برای هر واحد (در مجموع ۴۸۰ مگاوات) در ۱۰۵ کیلومتری شهر ایلام، بر روی رودخانه سیمره در حال احداث است که به لحاظ تأمین برق و کنترل فرکانس شبکه کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این نیروگاه از نوع سطحی و توربین آن از نوع فرانسویس با محور عمودی است. قطر خروجی چرخ توربین  $D = 4.0m$ ، سرعت دورانی واحد  $N = 187.5rpm$ ، دبی نامی هر واحد  $Q = 156m^3/sec$  و هد خالص  $H = 114.0m$  می‌باشد (۳).

شکل (۱) تصویر شماتیک نیروگاه و ابعاد آبراهه برای واحد شماره ۳ (طولانی ترین آبراهه) را نشان می‌دهد. حجم آب ذخیره شده در آبراهه واحد شماره ۳، حدود  $130700m^3$  و در مخزن موج‌گیر، در شرایط نامی در حدود  $105153.5m^3$  می‌باشد.



شکل (۱): ساختار نیروگاه مجازی

### منحنی عملکرد توربین و معادله حاکم بر آن

شکل (۲) منحنی عملکرد مدل یک توربین فرانسویس را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. محور افقی، معرف سرعت واحد  $n_{11} = DN / H^{0.5}$  (Unit speed) و محور عمودی، معرف دبی واحد (Unit discharge)  $Q_{11} = Q / (D^2 H^{0.5})$  است. (۲، ۳ و ۴) دبی:  $Q$ ؛

$H$ : ارتفاع ستون آب سوار بر توربین؛

$N$ : سرعت دورانی توربین؛

### $D$ : قطر خروجی چرخ توربین.

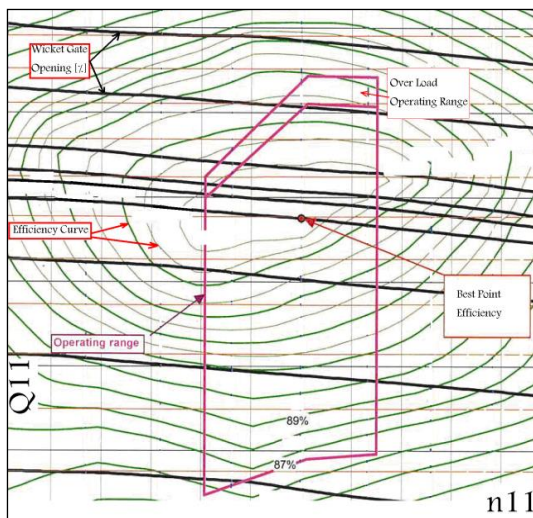
در این شکل خطوط سیاه‌رنگ افقی، معرف خطوط گشودگی ثابت دریاچه‌های تنظیمی؛ خطوط سبز دایروی، معرف منحنی بازده ثابت و محدوده مشخص شده با خطوط قرمز عمودی، نشان‌دهنده محدوده مجاز کارکرد توربین است.

در شکل (۲) می‌توان خطوط گشودگی ثابت دریاچه‌های تنظیمی را با تقریب خوبی به صورت خطوطی مستقیم با شیب  $a$  که محور  $Q_{11}$  را در  $b$  قطع می‌کند و مطابق رابطه  $Q_{11} = a(w)n_{11} + b(w)$  شبیه‌سازی کرد ( $w$  میزان گشودگی دریاچه‌های تنظیمی است).

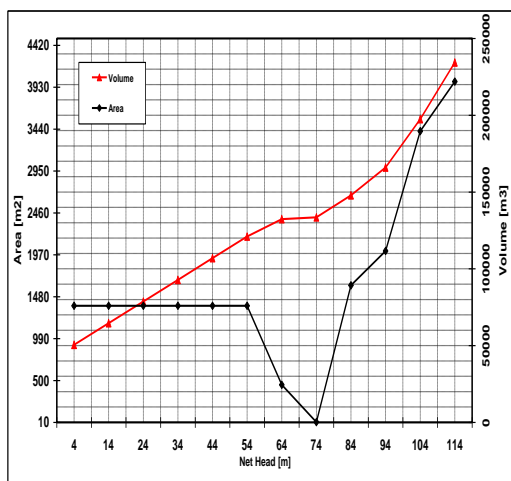
با در نظر گرفتن تعاریف مربوط به پارامترهای هیدرولیکی بی‌بعد، می‌توان این معادله را به صورت زیر بازنویسی کرد؛

(۱)

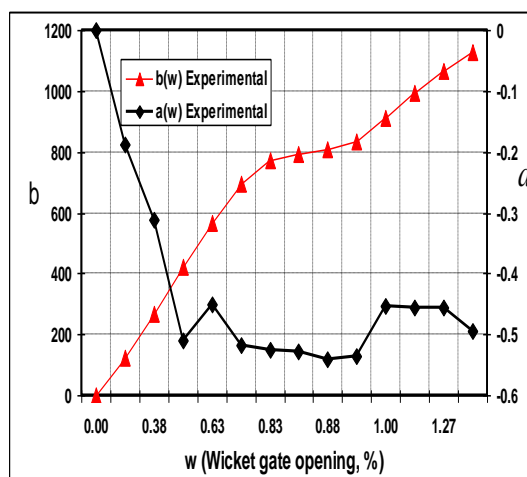
در تحقیق حاضر به کمک نتایج تجربی حاصل از آزمون مدل توربین (Turbine model test) نیروگاه سیمره در گشودگی‌های مختلف دریاچه‌های تنظیمی (۴) تغییرات  $a(w)$  و  $b(w)$  محاسبه شد که در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل (۲): منحنی عملکرد مدل یک توربین فرانسویس



شکل (۵): تغییرات حجم و سطح مقطع ایستایی سیال در داخل آبراهه برحسب ارتفاع خالص آب

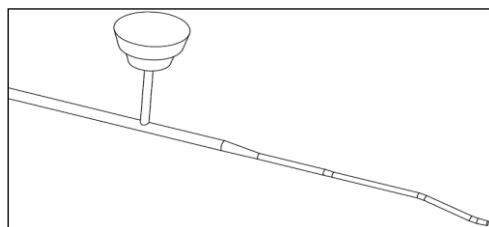


شکل (۳): تغییرهای  $b(w)$  و  $a(w)$  برحسب گشودگی دریچه‌های تنظیمی

گشتاور هیدرولیکی روی دریچه‌های تنظیمی برای یک نیروگاه آبی می‌توان «گشتاور هیدرولیکی» وارده بر دریچه‌های تنظیمی در گشودگی‌های مختلف را هم‌زمان با انجام آزمایش مدل توربین اندازه‌گیری کرد. (۴، ۵، ۶) شکل (۶) نتایج به‌دست آمده از این اندازه‌گیری را برای نیروگاه سیمره نشان می‌دهد. (۴) در این شکل تغییرهای ضریب گشتاور هیدرولیکی وارد بر دریچه‌های تنظیمی  $C_T$  برحسب میزان گشودگی دریچه‌های تنظیمی برای نیروگاه سیمره نمایش داده شده است.

منحنی  $n_{11} = 70.2$  مربوط به تغییرهای ضریب گشتاور در شرایط اتصال ژنراتور به شبکه سراسری برق و منحنی  $n_{11} = 117.6$  مرتبط با ضریب گشتاور در شرایط عدم اتصال ژنراتور به شبکه سراسری برق و دوران آزاد توربین و ژنراتور می‌باشد. باتوجه به اینکه در زمان تخلیه آبراهه، ژنراتور واحدها به شبکه متصل نیستند، از منحنی  $n_{11} = 117.6$  برای محاسبه‌ها استفاده شده است. ضریب گشتاور هیدرولیکی طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود؛

فرایند تخلیه آبراهه نیروگاه سیمره، از طریق توربین برای تخلیه آبراهه این نیروگاه؛ ابتدا دریچه ورودی مخزن بالادست بسته می‌شود و سپس با گشودن دریچه‌های تنظیمی، آب از طریق توربین به مخزن پایین دست هدایت می‌گردد که در این فرایند ابتدا مخزن موج‌گیر و سپس آبراهه تخلیه می‌شود. در این مقاله برای شبه‌سازی فرایند تخلیه، ابتدا مجموعه آبراهه و مخزن موج‌گیر واحد شماره ۳ نیروگاه (که طولانی‌ترین آبراهه است) به صورت سه‌بعدی مطابق شکل (۴) مدل‌سازی هندسی شد. سپس میزان حجم و سطح مقطع ایستایی آب داخل آبراهه برحسب ارتفاع آب محاسبه گردید که نتایج آن در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۴): مدل‌سازی سه‌بعدی آبراهه و مخزن موج‌گیر

مقطع ایستایی سیال در آبراهه است که مطابق شکل (۵) با تغییر ارتفاع، تغییر می کند. این رابطه در شکل «بی بعد» به صورت زیر نوشته می شود: (۷)

$$\frac{dh}{d\tau} = - \frac{t_m Q_0}{A_0 H_0} \frac{q\sqrt{h}}{\kappa} \quad (۳)$$

که در این رابطه؛

$$\kappa = A/A_0 \quad h = H/H_0 \quad \tau = t/t_m$$

$$q = Q_{11}/Q_{110} = (Q/H^{0.5})/(Q_0/H_0^{0.5})$$

و  $A_0$ ، سطح مقطع مرجع است.  $H_0$  و  $Q_0$  به ترتیب

دبی و هد در نقطه بهره برداری نامی است و  $t_m$  ثابت

زمانی اینرسی واحد می باشد. این ثابت زمانی از رابطه (۴)

محاسبه می شود که  $L_i$ ، طول بخش های مختلف آبراهه

می باشد:

$$t_m = \frac{Q_0}{gH_0} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A_i} \quad (۴)$$

ب. معادله دینامیک؛

معادله ای که بیانگر نحوه چرخش واحد در اثر گشتاور

حاصل از جریان سیال است: (۷)

$$I \frac{d\omega}{dt} = T - T_d \quad (۵)$$

که در این رابطه  $T_d$ ، مجموع گشتاور اصطکاکی

هدررفت در یاتاقان های هادی، یاتاقان های کف گرد (Trust

bearing) ژنراتور و توربین است که با توان دوم سرعت

دورانی واحد متناسب می باشد؛ یعنی  $T_d = \sigma\omega^2$  که  $T$

گشتاور محرک سیال، « $I$ » ممان اینرسی قطبی اجزای

دوار، « $\sigma$ » ضریب اصطکاک اجزای دوار و  $\omega$  سرعت

دورانی توربین است. با در نظر گرفتن رابطه های (۲) و (۵) و

$$\omega = \pi N/30$$

خواهیم داشت:

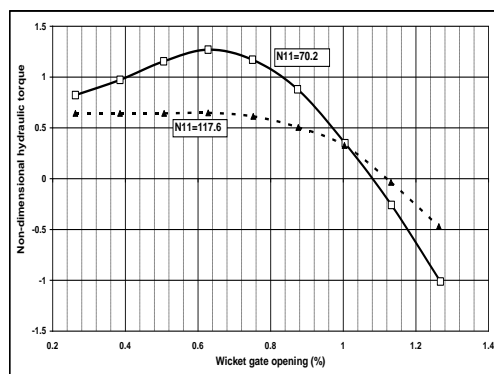
$$C_T = \frac{T_m}{\rho g H_m D_m^3} \quad (۲)$$

$T_m$ : گشتاور وارد شده بر دریچه های تنظیمی در

شرایط آزمایشگاهی؛

$H_m$ : هد سوار بر نیروگاه در شرایط آزمایشگاهی؛

$D_m$ : قطر چرخ توربین آزمایشگاهی.



شکل (۶): تغییرهای ضریب گشتاور  $C_T$  بر حسب میزان

گشودگی دریچه های تنظیمی

جدول (۱): اطلاعات مربوط به نیروگاه سیمره

$A_0 = 28.3\text{m}^2$	$H_0 = 114.0\text{m}$	$Q_0 = 156\text{m}^3/\text{sec}$
$\rho g = 9810$	$t_m = 3.3\text{sec}$	$N_0 = 187.5\text{rpm}$
$I = 57940000\text{kg/m}^2$		

معادله های حاکم

معادله های حاکم برای تحلیل چرخش توربین به دو بخش

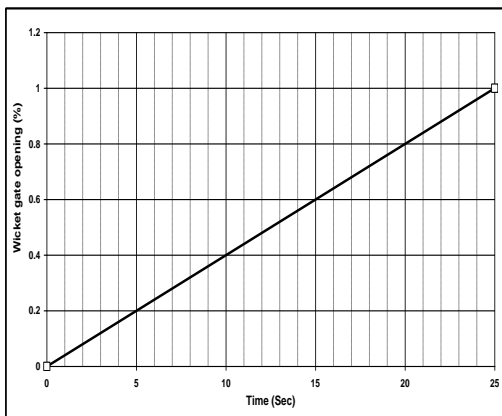
«معادله دینامیک» و «معادله پیوستگی» تقسیم بندی

می شود:

الف. معادله پیوستگی؛

هم زمان با تخلیه آب از داخل آبراهه، ارتفاع آب سوار بر

توربین کاهش می یابد. بنابراین دبی تخلیه با



شکل (۷): قانون باز شدن دریچه‌های تنظیمی

برای تعیین تغییرهای ارتفاع ستون آب و سرعت دورانی توربین در زمان تخلیه آب در گشودگی مشخصی از دریچه‌های تنظیمی،  $w = w_0$  می‌بایست معادله‌های (۸) و (۹)، (۱۱) و (۱۲) را با در نظر گرفتن اطلاعات موجود در نمودارهای شکل‌های (۳)، (۵) و (۶) و شرایط اولیه  $(at \tau = 0) \Rightarrow h = 1; q = 0; z = 0$  به‌طور هم‌زمان حل کرد.

در این نیروگاه، مطابق نتایج آزمایشگاهی، میزان سرعت فرار (Runaway speed) در بیشترین میزان گشودگی ( $w = 1.0$ ) برابر است با  $N_{run} = 333.3 \text{rpm}$  که در حالت بی‌بعد  $z_{run} = 333.3/187.5 = 1.777$ .

در این مقاله، ضریب  $\sigma$ ، از روش سعی و خطا تعیین شده است. به طوری که مطابق شکل (۸) میزان افزایش سرعت در  $w = 1.0$  برابر  $z_{run} = 1.777$  بشود. به این ترتیب خواهیم داشت:  $\sigma = 18680$ .

$$I \frac{2\pi}{60} \frac{dN}{dt} = C_T (\rho g H D^3) - \sigma \left( \frac{2\pi}{60} \right)^2 N^2 \quad (6)$$

که در شکل بی‌بعد آن داریم:

$$\left\langle \left\langle \frac{dz}{d\tau} = \left( \frac{\rho g H_0 D^3 t_m}{IN_0} \frac{60}{2\pi} \right) C_T h - \left( \frac{\sigma N_0 t_m}{I} \frac{2\pi}{60} \right) z^2 \right\rangle \right\rangle \quad (7)$$

که  $z = N/N_0$  برای نیروگاه مورد بحث، با در نظر گرفتن مقادیر مندرج در جدول (۱) از معادله‌های (۳) و (۷) به ترتیب خواهیم داشت:

$$\frac{dh}{d\tau} = -0.16 \frac{qh^{0.5}}{\kappa} \quad (8)$$

$$\frac{dz}{d\tau} = 0.207 C_T h - 1.113 \times 10^{-6} \sigma z^2 \quad (9)$$

از طرفی شکل بی‌بعد رابطه شماره (۱) نیز برابر است با:

$$q = a(w) \frac{N_0 D^3}{Q_0} z h^{-0.5} + b(w) \frac{D^2 H_0^{0.5}}{Q_0} \quad (10)$$

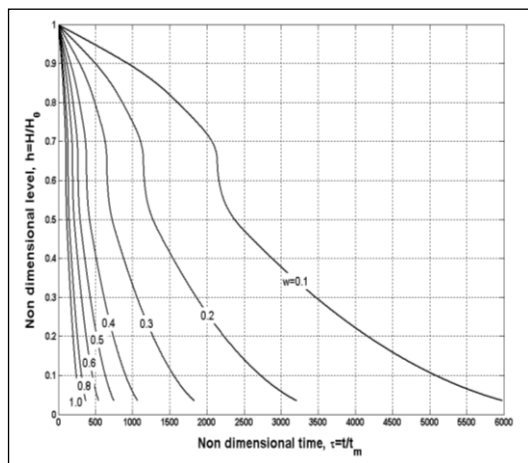
که با جایگزینی مقادیر جدول (۱) خواهیم داشت:

$$q = 76.923a(w) z h^{-0.5} + 1.095b(w) \quad (11)$$

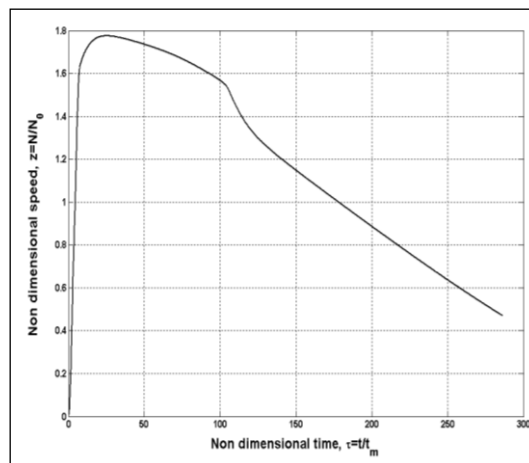
### قانون باز شدن دریچه‌های تنظیمی

شکل (۷) چگونگی باز شدن دریچه‌های تنظیمی از زمان بستن کامل تا گشودگی نامی (Rated opening) برای نیروگاه سیمره را نشان می‌دهد. کل زمان باز شدن  $t_0 = 25 \text{sec}$  بوده و قانون باز شدن (Opening law) به صورت  $w = t/t_0$  می‌باشد که در شکل بی‌بعد آن خواهیم داشت:

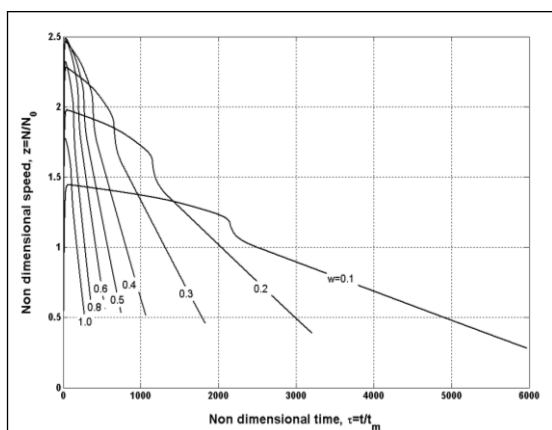
$$w = 0.132\tau \quad (12)$$



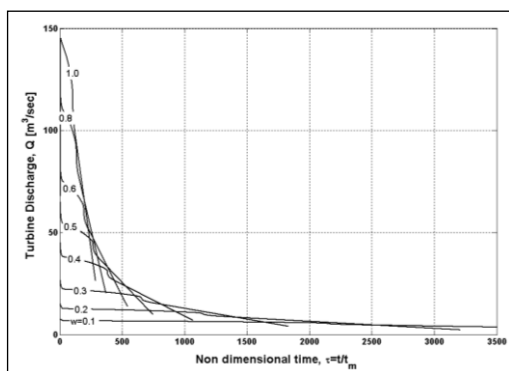
شکل (۹): تغییرهای ارتفاع ستون آب بی‌بعد در زمان تخلیه آبراهه در گشودگی‌های مختلف



شکل (۸): تغییرهای سرعت بی‌بعد در زمان تخلیه آبراهه در گشودگی  $w = 1.0$



شکل (۱۰): تغییرهای سرعت بی‌بعد در زمان تخلیه آبراهه در گشودگی‌های مختلف



شکل (۱۱): تغییرهای دبی عبوری از واحد در زمان تخلیه آبراهه، در گشودگی‌های مختلف

برای وضوح بیشتر، تغییرهای ارتفاع ستون آب بی‌بعد و

سرعت بی‌بعد در زمان تخلیه آبراهه در گشودگی  $w = 0.1$

، در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

### نتایج حل عددی معادله‌های حاکم

شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب: تغییرهای ارتفاع ستون آب بی‌بعد و تغییرهای سرعت بی‌بعد را در زمان تخلیه آبراهه برای واحد شماره (۳) نیروگاه سیمره در گشودگی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

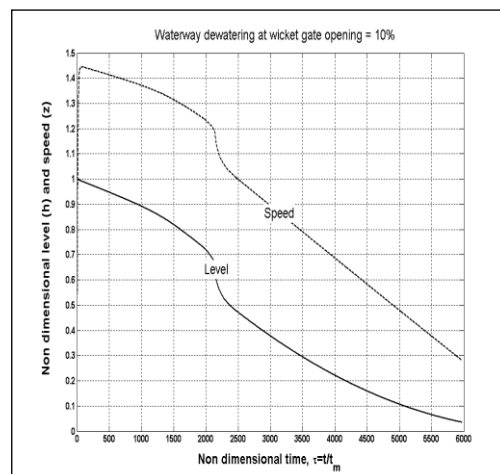
نتایج این محاسبات نشان می‌دهد که با گشودن ۱۰ درصدی دریچه‌های تنظیمی، می‌توان مجموعه آبراهه و مخزن موج‌گیر را در زمان تقریبی ۵/۵ ساعت از طریق توربین تخلیه کرد. در این شرایط، سرعت دورانی توربین ژنراتور به کمتر از ۱/۵ برابر سرعت نامی توربین می‌رسد که به لحاظ طراحی ژنراتور در محدوده مجاز می‌باشد. شکل (۱۱) نیز چگونگی تغییرهای دبی عبوری از واحد را در زمان تخلیه آبراهه، به‌ازای گشودگی‌های مختلف دریچه‌های تنظیمی نشان می‌دهد.

### سیاسگزاری

نگارنده از شرکت فراب به دلیل همکاری و در اختیار قرار دادن منابع و مستندات خود، تشکر و قدردانی می‌کند.

### منابع

۱. پوریا اکبرزاده، یوشا رادپرور، «بررسی تجربی تأثیرات نوسانه‌های فشاری لوله مکش بر ارتعاشات محور اصلی توربین در نیروگاه برق - آبی کارون ۳»، اولین کنفرانس تجهیزات نیرو در صنایع نفت و نیرو، مهر ۱۳۸۷
۲. پوریا اکبرزاده، امیر سروی، «شبیه‌سازی نوسانات فشاری در ورودی محفظه حلزونی نیروگاه کارون ۳ به روش مشخصه‌ها»، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق - آبی، اردیبهشت ۱۳۸۷
۳. مدارک و مستندات فنی، شرکت فرآب، نتایج آزمایش تست مدل توربین نیروگاه سیمره، اکتبر ۲۰۰۶، شرکت آلستوم فرانسه.
۴. مدارک و مستندات فنی، شرکت فرآب، نتایج آزمایش تست مدل توربین نیروگاه سیاه‌بیشه، جولای ۲۰۰۵، شرکت فویت - هایدرو آلمان.
۵. مدارک و مستندات فنی، شرکت فرآب، نتایج آزمایش تست مدل توربین نیروگاه مسجدسلیمان، می ۲۰۱۰، شرکت فویت - هایدرو آلمان.
6. D. Altieri, "Dewatering of power conduits at Sara da Mesa by opening the guide vanes", International Journal of Water Power & Dam Construction, (1991).
7. T. Jacob, "Modeling, Testing & Monitoring for Hydraulic Powerplants - II", Conference and Exhibition Lausanne, Switzerland, (1996).



شکل (۱۲): تغییرهای ارتفاع ستون آب بی‌بعد و سرعت بی‌بعد در

زمان تخلیه آبراهه در گشودگی  $w = 0.1$

### نتیجه‌گیری

در این مقاله ضمن معرفی کوتاهی از نیروگاه‌های برقایی، عملکرد توربین فرانسویس و روش‌های مختلف تخلیه آبراهه این نوع از نیروگاه‌ها و روش تخلیه آبراهه از طریق توربین با مدل‌سازی ریاضی و عددی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. میزان افزونی سرعت چرخ توربین، زمان تخلیه و چگونگی تغییرهای ارتفاع ستون آب در گشودگی‌های مختلف دریچه‌های تنظیمی، از موارد فنی است که در این پژوهش مورد تحلیل و محاسبه‌های عددی قرار گرفته است. این روش برای نیروگاه برقایی در دست احداث سیمره (با ابعاد بزرگ آبراهه و مخزن موج‌گیر منحصر به فرد) به عنوان نمونه‌ای واقعی ارزیابی شده است. نتایج این محاسبه‌ها گویای این است که می‌توان با گشودن ۱۰ درصدی دریچه‌های تنظیمی، مجموعه آبراهه و مخزن موج‌گیر در این نیروگاه را در زمان تقریبی ۵/۵ ساعت از طریق توربین تخلیه کرد. در این شرایط، سرعت دورانی توربین ژنراتور به کمتر از ۱/۵ برابر سرعت نامی توربین می‌رسد که به لحاظ طراحی ژنراتور در محدوده مجاز می‌باشد.