

فصل ۱ -

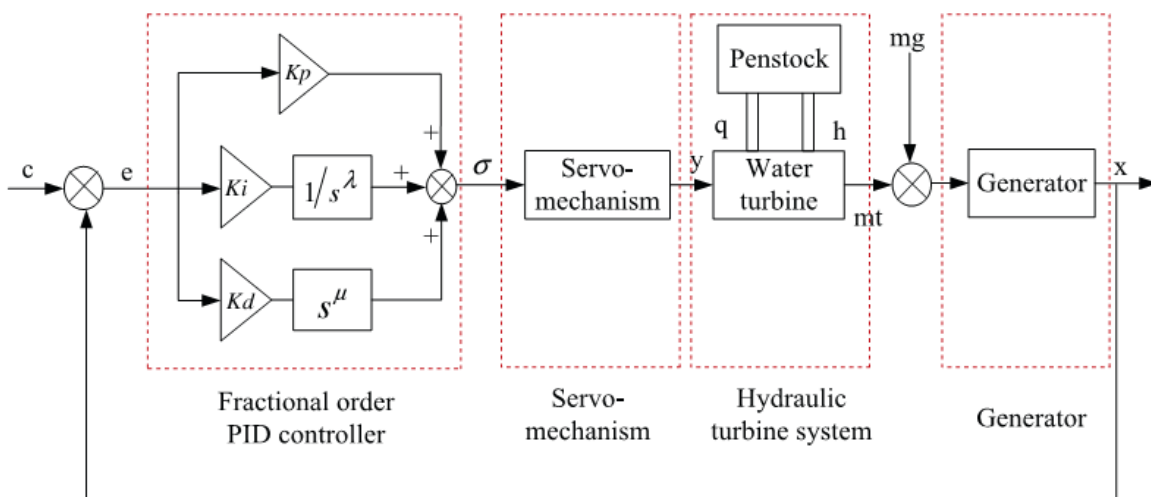
شبه سازی و نتایج

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به مدل‌سازی سیستم توربین آب خواهیم پرداخت. سپس با طراحی کنترل کننده بهینه PID مرتبه کسری، عملکرد سیستم را بهبود خواهیم بخشید. سپس عملکرد کنترل کننده PID مرتبه کسری را با PID کلاسیک مقایسه خواهیم نمود، و در نهایت مقایسه ای خواهیم داشت میان عملکرد دو الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات و ممتیک.

۱-۲- مدل‌سازی سیستم توربین آب

سیستم توربین آب سیستمی پیچیده است که دارای سه بخش سرومکانیزم، سیستم هیدرولیک و سیستم ژنراتور می باشد. ساختار سیستم توربین آب به همراه کنترل کننده PID مرتبه کسری در شکل (۱-۴) ارائه شده است. در مراجع [۶۸-۷۵] شبیه سازی سیستم توربین آبی یا بصورت مدل‌سازی در حالت شرایط ایده آل و یا مدل‌سازی بیش از حد ساده شده می باشد، که این امر برای آنالیز دقیق دینامیک سیستم مناسب نمی باشد. در این پایان نامه به بررسی مدلی کامل از سیستم توربین بادی پرداخته ایم.



شکل ۱-۴: ساختار سیستم توربین آب به همراه کنترل کننده PID مرتبه کسری

۱-۲-۱- مدل سرومکانیزم

سرومکانیزم، بخش فعال کننده و راه انداز توربین آبی می باشد. مبدل سرومکانیزم سیگنال خروجی کنترل کننده را به سیگنال هیدرولیکی تبدیل می کند. تابع تبدیل سرومکانیزم به صورت زیر می باشد.

$$y(s) = \frac{1}{Ty * s + 1} \sigma(s) \quad (1-4)$$

که در آن $y(s)$ خروجی سروومکانیزم و تبدیل لاپلاس سیگنال $y(t)$ ، $\sigma(s)$ سیگنال کنترلی و Ty ثابت زمانی اینرسی می باشد.

۱-۲-۲- مدل سیستم هیدرولیکی

سیستم هیدرولیکی بخش کلیدی و اساسی سیستم توربین آبی، دارای پیچیدگی های بسیار با پارامترهای مختلف و ویژگی های متغیر با زمان و نامینیم فاز می باشد. عموماً این سیستم در سه بخش در نظر گرفته می شود:

(۱) دریچه آب: در صورتی که دریچه از کوچک یا متوسط باشد، تابع تبدیل سیستم دریچه بصورت زیر در نظر گرفته می شود [۷۵]:

$$\frac{h(s)}{q(s)} = -Tw * s \quad (2-4)$$

که در آن Tw ثابت زمانی آب، $h(s)$ تبدیل لاپلاس سیگنال آب $h(t)$ و $q(s)$ تبدیل لاپلاس سیگنال سرعت جریان توربین $q(t)$ می باشند.

(۲) ویژگی های توربین آبی: در شرایط عملیاتی سیگنال کوچک، شاخص های مایع و گشتاور توربین آبی به صورت زیر در نظر گرفته می شوند [۷۰]:

$$\begin{cases} mt(s) = ex * x(s) + ey * y(s) + eh * h(s) \\ q(s) = eqx * x(s) + eqy * y(s) + eqh * h(s) \end{cases} \quad (3-4)$$

که رد آن $mt(s)$ تبدیل لاپلاس گشتاور آب تولید شده $mt(t)$ در زمان ضربه زدن آب، ex ، ey ، eh ، eqx ، eqy و eqh مشتقات جزعی توربین می باشند، که روش های محاسبه آنها در مرجع [۷۶] آورده شده است.

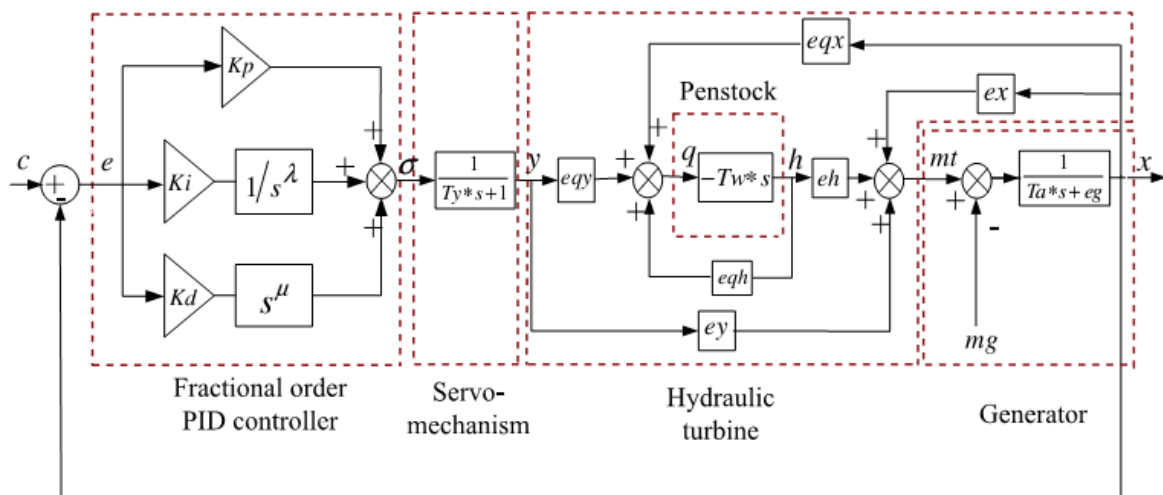
(۳) شاخص روتور توربین و اینرسی مکانیکی فرآیند هیدرولیکی: این بخش را می توان بعنوان بخشی از اینرسی مکانیکی ژنراتور در نظر گرفت.

۱-۲-۳- مدل سیستم ژنراتور

سیستم ژنراتور را می توان در دو بخش ژنراتورهای سنکرون و بار شبکه در نظر گرفت. معمولا مدل ژنراتور سنکرون با یک سیستم مرتبه اول ساده شده در نظر گرفته می شود. تابع تبدیل ژنراتور سنکرون به صورت زیر در نظر گرفته می شود [۶۹-۷۳]:

$$\frac{x(s)}{mt(s) - mg(s)} = \frac{1}{Ta*s + eg} \quad (۴-۴)$$

که در آن $mg(s)$ تبدیل لاپلاس گشتاور بار $mg(t)$ ، ثابت زمانی اینرسی ژنراتور و eg ضریب تنظیم ژنراتور می باشند. شکل (۴-۲) بلوک دیاگرام سیستم توربین آب به همراه کنترل کننده PID مرتبه کسری را نشان می دهد.



شکل ۴-۲: بلوک دیاگرام سیستم توربین آب به همراه کنترل کننده PID مرتبه کسری

همچنین پارامترهای توربین آب و ژنراتور در دو حالت وجود بار و بی باری در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

جدول ۴-۱: پارامترهای توربین آب و ژنراتور

Running Condition	Parameters							
	ex	ey	eh	eqx	eqy	eqh	Ta	eg
Unload	-1.0567	0.9080	1.4191	-0.0574	0.7887	0.4571	12	0.45
Load	-1.2481	1.3130	1.3028	-0.1035	1.0045	0.3843	8.5	0.65

۳-۱- طراحی کنترل کننده بهینه PID مرتبه کسری و مقایسه آن با PID کلاسیک

در این پایان نامه جهت کنترل عملکرد توربین آب از کنترل کننده PID مرتبه کسری استفاده شده است. جهت طراحی دقیق تر و بهینه تر کنترل کننده، از الگوریتم بهینه سازی ممتیک بر پایه الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات با بخش جستجوی محلی تو در تو استفاده شده است. در مقایسه با کنترل کننده PID کلاسیک که تنها سه پارامتر K_p ، K_i و K_d جهت طراحی دارد، کنترل کننده PID مرتبه کسری با پنج پارامتر K_p ، K_i ، λ ، K_d و μ طراح را قادر خواهد ساخت که طراحی بهتر و دقیق تری داشته باشد.

$$PID = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5-4)$$

$$FOPID = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu \quad (6-4)$$

تابع هدف مورد استفاده در این طراحی معیارهای خطای ITAE و ITSE می باشند که روابط آنها در زیر آورده شده است.

$$ITAE = \int_0^\infty t |e(t)| dt \quad (7-4)$$

$$ITSE = \int_0^\infty t \{e(t)\}^2 dt \quad (8-4)$$

روند طراحی کنترل کننده به این صورت می باشد که ابتدا الگوریتم مقدار دهی اولیه شده و تنظیمات آن انجام می گیرد. سپس برای هر ذره از جمعیت پنج مقدار بعنوان پارامترهای طراحی در نظر گرفته می شود. پارامترهای کنترلی در سیستم و کنترل کننده قرار گرفته و عمل کنترل را انجام می دهند. سپس میزان خطای کنترل با استفاده از یکی از معیارهای ITAE یا ITSE محاسبه شده و بعنوان تابع هدف برای شبیه سازی بازگردانده می شود. با توجه به مقادیر بدست آمده این عمل آنقدر تکرار می شود تا تابع هدف، که همان خطا می باشد، به کمترین مقدار خود برسد. در این لحظه پارامترهای کنترل کننده PID در بهینه ترین حالت خود قرار دارند.

جهت بررسی بهتر عملکرد کنترل کننده های PID مرتبه کسری و کلاسیک و همچنین الگوریتم ممتیک، توربین آبی و کنترل کننده ها را برای حالت های بی باری و با بارهای $mg = 0.1$ ، $mg = 0.5$ و $mg = 1$ آزمایش کردیم. جهت بررسی و مقایسه دو معیار خطا، دو دو جدول مجزا حالت های مختلف و پارامترهای بهینه کنترلی بدست آمده ارائه شده اند.

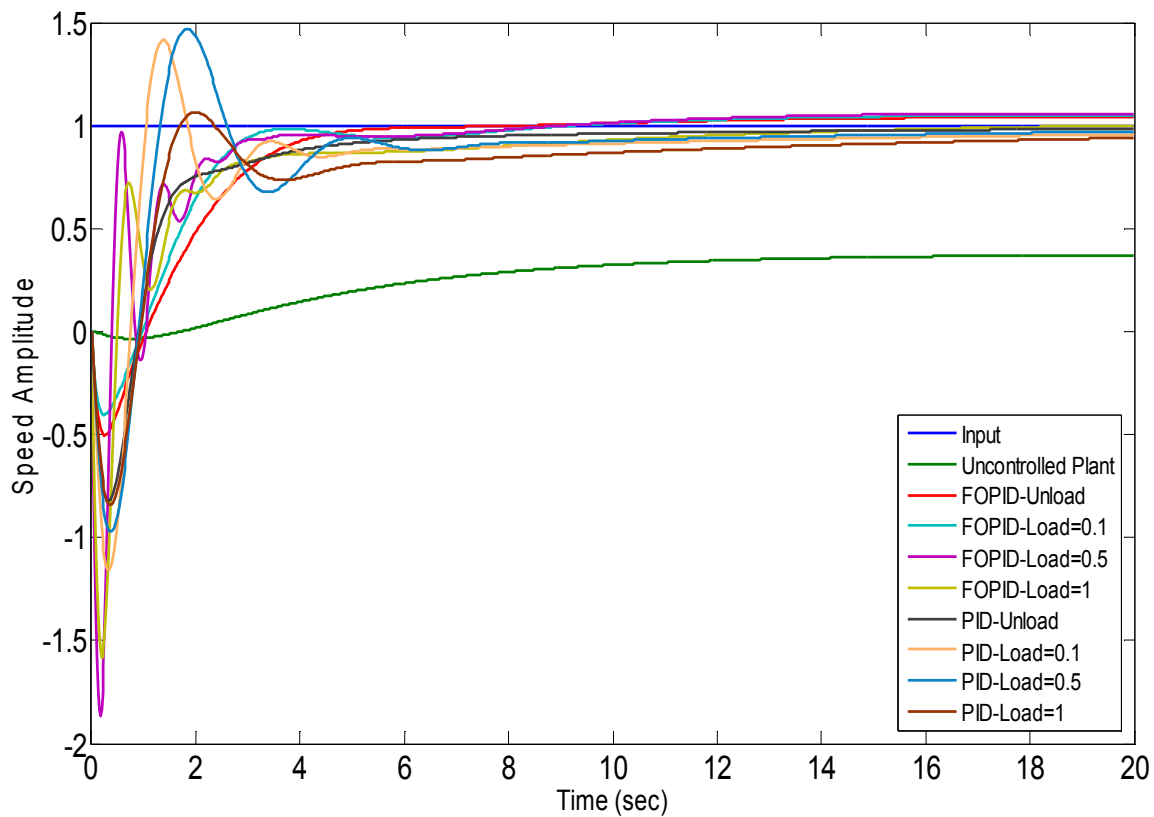
جدول ۴-۲: پارامترهای بهینه کنترل کننده PID مرتبه کسری با معیار خطای ITAE

Running Condition	Parameters					
	K_p	K_i	λ	K_d	μ	ITAE
Unload	6.010	0.412	1.200	2.995	1.108	8.617
Load=0.1	4.115	0.385	1.241	1.219	1.153	9.390
Load=0.5	5.527	0.424	1.308	2.613	1.304	10.180
Load=1	5.308	0.495	1.116	2.785	1.224	11.100

جدول ۴-۳: پارامترهای بهینه کنترل کننده PID کلاسیک با معیار خطای ITAE

Running Condition	Parameters			
	K_p	K_i	K_d	ITAE
Unload	6.235	0.542	4.926	8.469
Load=0.1	5.356	0.435	3.213	15.390
Load=0.5	6.135	0.613	2.568	13.400
Load=1	5.315	0.469	2.358	22.010

همانطور که از جدول های (۲-۴) و (۳-۴) مشهود است، با معیار خطای ITAE به عنوان تابع هزینه، در حالت بی باری کنترل کننده با خطای کمتری نسبت به سه حالت همراه با بار سیستم توربین آبی را کنترل نموده است. مشاهده می شود که هر چقدر میزان بار بیشتر می شود پارامترهای بهینه کنترلی با خطای بیشتری در تابع هدف همراه هستند. همچنین مشاهده می شود که کنترل کننده PID مرتبه کسری از نسخه کلاسیک در تمام حالت ها عملکرد بهتری دارد. جهت مقایسه و بررسی بیشتر عملکرد کنترل کننده ها نتایج طراحی و مقایسه در شکل (۳-۴) آورده شده است.



شکل ۴-۳: نتایج طراحی و مقایسه کنترل کننده های بهینه PID مرتبه کسری و کلاسیک با استفاده از الگوریتم

ممتیک با معیار خطای ITAE

همانطور که در شکل (۴-۳) مشاهده می شود، با طراحی و جایگذاری کنترل کننده PID مرتبه کسری و کلاسیک در تمام حالات بی باری و با باری سیستم به خروجی مطلوب رسیده و ردیابی به خوبی انجام شده است. نکته حائز اهمیت اینست که هرچه میزان بار سیستم بیشتر می شود میزان فروجهش^۱ بیشتر می شود، اما در نهایت کنترل کننده به خوبی می تواند سیستم را کنترل نماید. همانند نتایج جدول های (۴-۲) و (۴-۳)، در شکل (۴-۳) هم عملکرد بهتر کنترل کننده مرتبه کسری مشهود است.

^۱ Undershoot

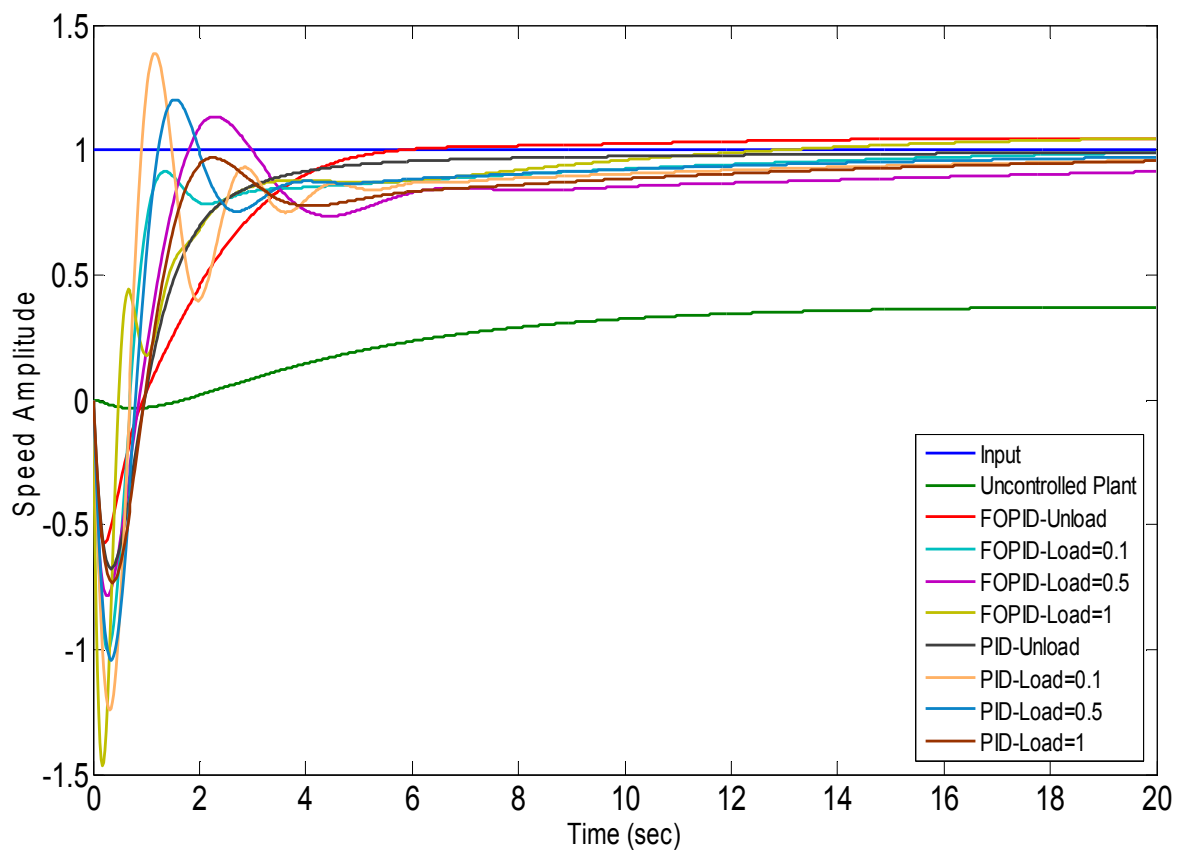
جدول ۴-۴: پارامترهای بهینه کنترل کننده PID مرتبه کسری با معیار خطای ITSE

Running Condition	Parameters					
	K_p	K_i	λ	K_d	μ	ITSE
Unload	5.911	0.431	1.196	3.130	1.167	1.308
Load=0.1	4.853	0.312	1.156	2.846	1.045	1.662
Load=0.5	6.102	0.205	1.134	1.895	1.156	4.368
Load=1	5.462	0.384	1.268	2.472	1.270	4.647

جدول ۴-۵: پارامترهای بهینه کنترل کننده PID کلاسیک با معیار خطای ITSE

Running Condition	Parameters			
	K_p	K_i	K_d	ITSE
Unload	6.138	0.592	4.236	1.653
Load=0.1	4.356	0.401	3.566	2.699
Load=0.5	5.317	0.572	2.926	2.016
Load=1	4.926	0.519	2.138	3.204

همانطور که از جدول های (۲-۴) و (۳-۴) مشهود است، با معیار خطای ITAE به عنوان تابع هزینه، در حالت بی باری کنترل کننده با خطای کمتری نسبت به سه حالت همراه با بار سیستم توربین آبی را کنترل نموده است. مشاهده می شود که هر چقدر میزان بار بیشتر می شود پارامترهای بهینه کنترلی با خطای بیشتری در تابع هدف همراه هستند. همچنین مشاهده می شود که کنترل کننده PID مرتبه کسری از نسخه کلاسیک در تمام حالت ها عملکرد بهتری دارد. جهت مقایسه و بررسی بیشتر عملکرد کنترل کننده ها نتایج طراحی و مقایسه در شکل (۳-۴) آورده شده است.



شکل ۴-۴: نتایج طراحی و مقایسه کنترل کننده های بهینه PID مرتبه کسری و کلاسیک با استفاده از الگوریتم

ممتیک با معیار خطای ITSE

همانطور که در شکل (۴-۴) مشاهده می شود، با طراحی و جایگذاری کنترل کننده PID مرتبه کسری و کلاسیک در تمام حالات بی باری و با باری سیستم به خروجی مطلوب رسیده و ردیابی به خوبی انجام شده است. نکته حائز اهمیت اینست که هرچه میزان بار سیستم بیشتر می شود میزان فروجهش بیشتر می شود، اما در نهایت کنترل کننده به خوبی می تواند سیستم را کنترل نماید. همانند نتایج جدول های (۴-۴) و (۴-۵)، در شکل (۴-۴) هم عملکرد بهتر کنترل کننده مرتبه کسری مشهود است.

۱-۴- مقایسه عملکرد الگوریتم ممیتک و بهینه سازی انبوه ذرات در طراحی بهینه

کنترل کننده PID مرتبه کسری

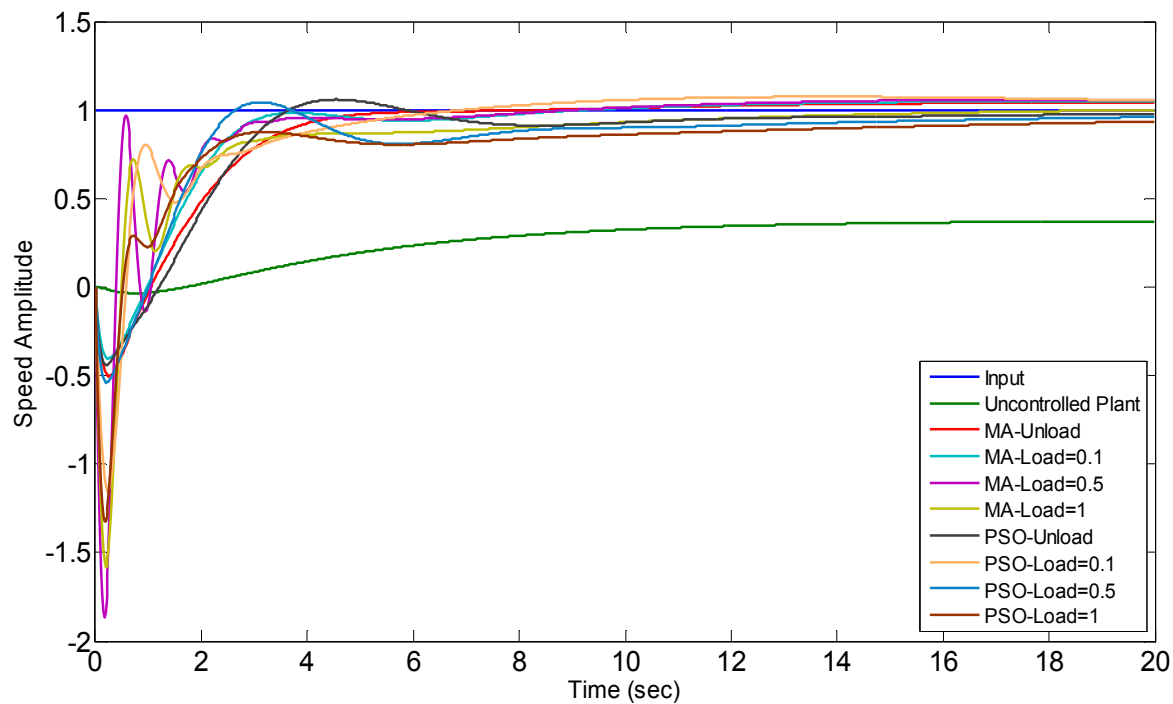
از آنجا که الگوریتم ممیتک مورد استفاده در این پایان نامه مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات می باشد، لذا در این بخش به بررسی و مقایسه عملکرد این دو در طراحی کنترل کننده های بهینه PID مرتبه کسری جهت کنترل سیستم توربین آب می پردازیم.

جدول ۴-۶: مقایسه عملکرد الگوریتم های PSO و MA در طراحی بهینه کنترل کننده PID مرتبه کسری با معیار خطای ITAE

Algorithm	Running Condition	Parameters					
		K_p	K_i	λ	K_d	μ	ITAE
MA	Unload	6.010	0.412	1.200	2.995	1.108	8.617
	Load=0.1	4.115	0.385	1.241	1.219	1.153	9.390
	Load=0.5	5.527	0.424	1.308	2.613	1.304	10.180
	Load=1	5.308	0.495	1.116	2.785	1.224	11.100
PSO	Unload	6.785	0.346	1.104	2.236	1.237	10.970
	Load=0.1	4.023	0.472	1.243	3.033	1.096	13.870
	Load=0.5	5.031	0.386	1.058	1.356	1.230	16.840
	Load=1	5.565	0.378	1.046	2.356	1.266	23.250

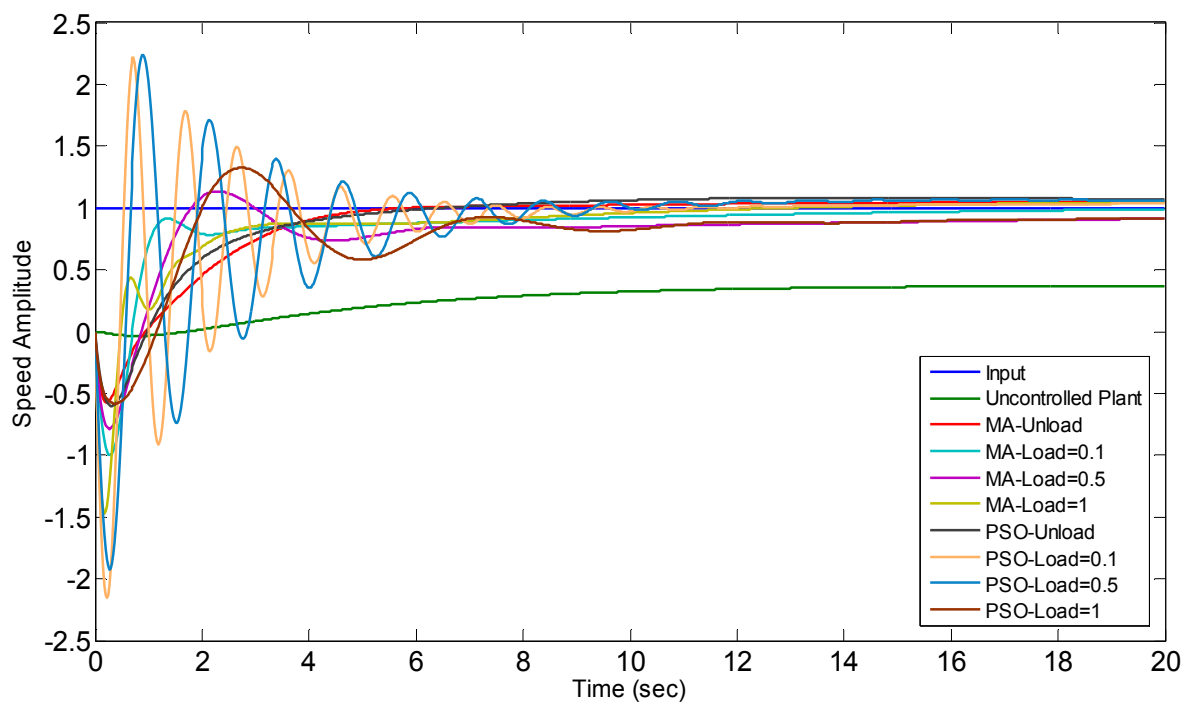
جدول ۴-۷: مقایسه عملکرد الگوریتم های PSO و MA در طراحی بهینه کنترل کننده PID مرتبه کسری با معیار خطای ITSE

Algorithm	Running Condition	Parameters					
		K_p	K_i	λ	K_d	μ	ITSE
MA	Unload	5.911	0.431	1.196	3.130	1.167	1.308
	Load=0.1	4.853	0.312	1.156	2.846	1.045	1.662
	Load=0.5	6.102	0.205	1.134	1.895	1.156	4.368
	Load=1	5.462	0.384	1.268	2.472	1.270	4.647
PSO	Unload	5.832	0.486	1.235	3.852	1.016	2.710
	Load=0.1	4.860	0.401	1.218	3.483	1.186	4.354
	Load=0.5	4.563	0.460	1.246	3.980	1.071	6.103
	Load=1	6.160	0.401	1.000	1.235	1.199	5.568



شکل ۴-۵: نتایج مقایسه عملکرد الگوریتم های MA و PSO در طراحی کنترل کننده های بهینه PID مرتبه کسری

با معیار خطای ITAE



شکل ۴-۶: نتایج مقایسه عملکرد الگوریتم های MA و PSO در طراحی کنترل کننده های بهینه PID مرتبه کسری

با معیار خطای ITSE

همانطور که در جدول های (۶-۴) و (۷-۴) مشاهده می شود، کنترل کننده های PID مرتبه کسری طراحی شده با استفاده از الگوریتم ممیتیک عملکرد بهتری نسبت به کنترل کننده های طراحی شده توسط الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات دارند. این مساله از میزان خطای کمتر بدست آمده از نتایج کنترل کننده ها قابل مشاهده می باشد. همچنین با مشاهده نتایج مقایسه ای شکل های (۴-۵) و (۴-۶) مشاهده می شود که الگوریتم ممیتیک تو در تو مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات عملکرد بهتر و کاربردی تری دارد.