



WASTE  
HEAT  
RECOVERY

---

مهدي كفاش

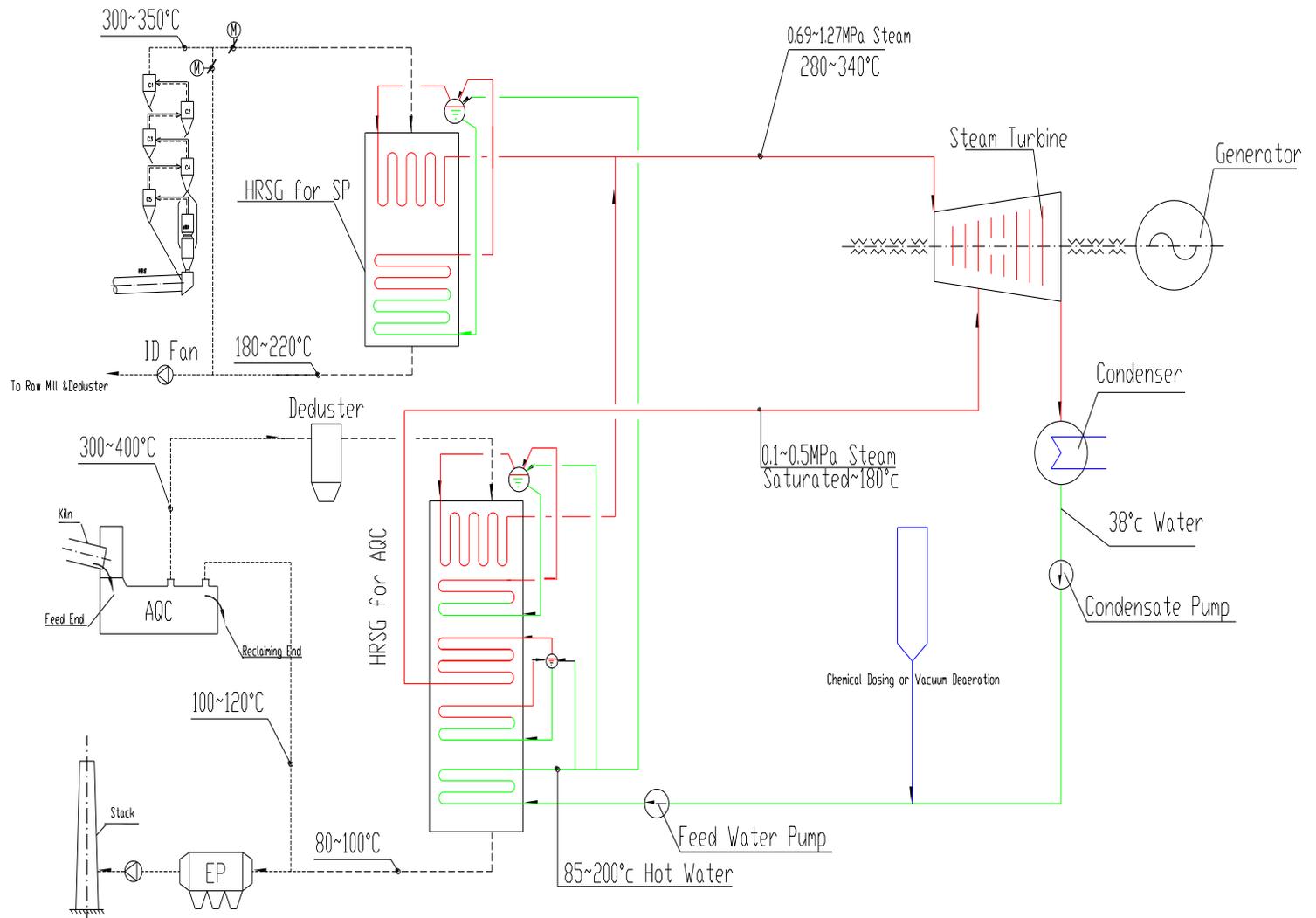
امروزه استفاده بهینه از انرژی و جایگزینی منابع مطمئن انرژی بی شک بزرگترین دغدغه بنگاه های تولیدی می باشد . با توجه به مسایل و مشکلات پیش آمده در زمینه تولید مستمر برق در کشور و افزایش قیمت انرژی الکتریکی در آینده ای نزدیک لزوم نگرش کلان به این موضوع بیش از پیش آشکار می گردد .

در همین خصوص مطالعات زیادی در خصوص راههای برون رفت از این مسأله در شرکت در حال بررسی می باشد که یکی از آنها تولید برق با استفاده از حرارت اتلاف شده از خروجی سیستم (Waste Heat Recovery) می باشد

❖ این پروژه تاکنون در کشورهای هند ، چین ، پاکستان ، ژاپن و چند کشور دیگر و در حدود ۷۰ کارخانه انجام شده است. شرکت دالیان دو روش برای انجام این پروژه پیشنهاد داده است که بطور خلاصه در ذیل شرح داده می شود.

## روش اول بازیافت حرارت (WHR1)

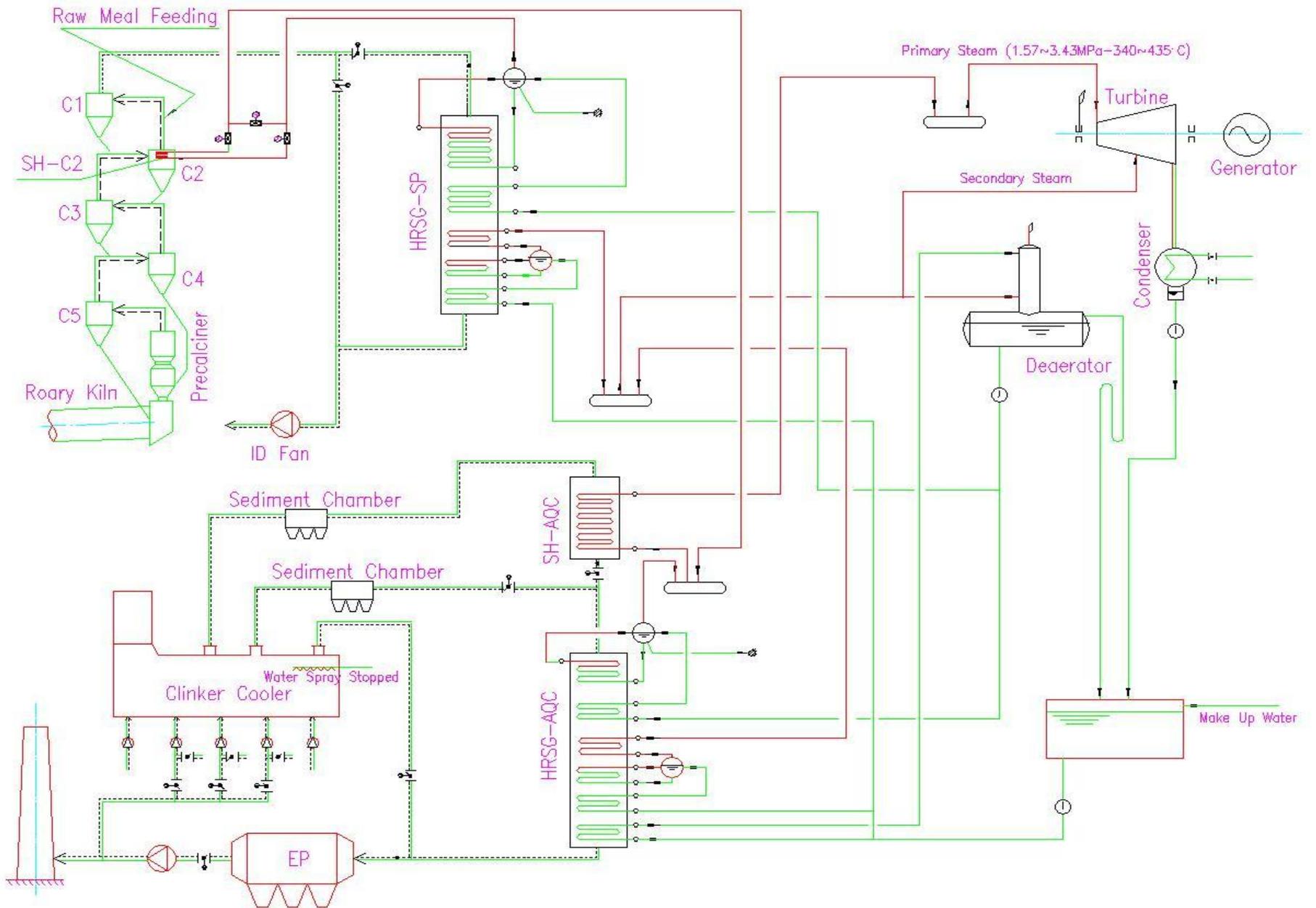
❖ در این روش تلفات حرارت از خروجی پیش گرمکن و یک خروجی از گریت کولر گرفته شده و پس از غبارگیری توسط داکت های مورد نظر به بویلرهای AQC و SP منتقل گردیده و بخار حاصله توربین برق را به حرکت در می آورد. از این روش به خاطر درجه حرارت پایین و یک خروجی از گریت کولر و بازدهی کم استفاده نمی گردد.



## روش دوم بازیافت حرارت (WHR2)

❖ در این روش تلفات حرارت از خروجی پیش گرمکن و دو یا چند خروجی از گریت کولر ، پس از غبارگیری به سمت بویلرهای AQC و SP هدایت شده که باعث گرم شدن آب در بویلر ها می گردد. این آب در بخش بخار ساز به بخار اشباع تبدیل شده و سپس سوپر هیت برای توربین ها تولید و به سمت پره های توربین ژنراتور هدایت شده تا انرژی الکتریکی تولید شود . سپس بخار آب موجود پس از عبور از کندانسور مجدداً به سمت بویلر ها هدایت می شوند . در حال حاضر از این روش در کارخانه ها استفاده می گردد.

❖ با استفاده از این روش تولید انرژی الکتریکی از حرارت خروجی به  $38\sim 46\text{kWh/t}$  clinker خواهد رسید.



مقدار	دیمانسیون	پارامتر
6	MW	ظرفیت تولید برق طراحی شده
5.66	MW	ظرفیت تولید برق واقعی
7200	h	کارکرد سالانه نیروگاه در سال
8	%	مصرف داخلی نیروگاه نسبت به برق تولیدی
17	نفر	تعداد نیروی انسانی مورد نیاز
۱	دستگاه	بویلر HRSG-AQC
۱	دستگاه	بویلر HRSG-SP
۱	دستگاه	بویلر SH-AQC
۱	دستگاه	توربین بخار
۱	دستگاه	ژنراتور

## جدول مقایسه ای به کارگیری سیستم WHRG در ۸ حالت مختلف

تاریخ: ۸۹/۱۲/۰۹

		1 Line				2 Lines			
		Air cooling System		Water cooling System		Air cooling System		Water cooling System	
		Produced Electricity Price (R/KWh)		Produced Electricity Price (R/KWh)		Produced Electricity Price (R/KWh)		Produced Electricity Price (R/KWh)	
		850	1,000	850	1,000	850	1,000	850	1,000
INVESTMENT COSTS	Total fixed investment costs	122,000,000,000	122,000,000,000	116,950,000,000	116,950,000,000	211,500,000,000	211,500,000,000	202,920,000,000	202,920,000,000
	Total pre-production expenditures(net of interest)	14,862,980,000	14,862,980,000	15,243,570,100	15,243,570,100	27,564,372,000	27,564,372,000	26,446,157,760	26,446,157,760
	TOTAL INVESTMENT COSTS	136,862,980,000	136,862,980,000	132,193,570,100	132,193,570,100	239,064,372,000	239,064,372,000	229,366,157,760	229,366,157,760
SOURCES OF FINANCE	Total equity capital	24,400,000,000	24,400,000,000	23,390,000,000	23,390,000,000	42,300,000,000	42,300,000,000	40,584,000,000	40,584,000,000
	Total long term loans	112,462,980,000	112,462,980,000	108,813,570,100	108,813,570,100	196,764,372,000	196,764,372,000	188,782,157,760	188,782,157,760
	TOTAL SOURCES OF FINANCE	136,862,980,000	136,862,980,000	132,203,570,100	132,203,570,100	239,064,372,000	239,064,372,000	229,366,157,760	229,366,157,760
INCOME AND COSTS, OPERATIONS	Sales revenue	30,294,000,000	35,640,000,000	33,660,000,000	39,600,000,000	60,588,000,000	71,280,000,000	67,320,000,000	79,200,000,000
	Factory cost	6,460,000,000	6,460,000,000	6,207,500,000	6,207,500,000	10,935,000,000	10,935,000,000	10,506,000,000	10,506,000,000
	Operating costs	6,460,000,000	6,460,000,000	6,207,500,000	6,207,500,000	10,935,000,000	10,935,000,000	10,506,000,000	10,506,000,000
	Depreciation	9,124,198,667	9,124,198,667	8,812,904,673	8,812,904,673	15,937,624,800	15,937,624,800	15,291,077,184	15,291,077,184
	Financial costs	2,946,166,983	2,946,166,983	2,850,564,226	2,850,564,226	5,154,591,281	5,154,591,281	4,945,483,039	4,945,483,039
	Total production costs	18,530,365,650	18,530,365,650	17,870,968,899	17,870,968,899	32,027,216,081	32,027,216,081	30,742,560,223	30,742,560,223
	Cost of products	18,530,365,650	18,530,365,650	17,870,968,899	17,870,968,899	32,027,216,081	32,027,216,081	30,742,560,223	30,742,560,223
	Gross profit from operations	11,763,634,350	17,109,634,350	15,789,031,101	21,729,031,101	28,560,783,919	39,252,783,919	36,577,439,777	48,457,439,777
	Gross profit	11,763,634,350	17,109,634,350	15,789,031,101	21,729,031,101	28,560,783,919	39,252,783,919	36,577,439,777	48,457,439,777
	Taxable profit	11,763,634,350	17,109,634,350	15,789,031,101	21,729,031,101	28,560,783,919	39,252,783,919	36,577,439,777	48,457,439,777
	Net Profit	11,763,634,350	17,109,634,350	15,789,031,101	21,729,031,101	28,560,783,919	39,252,783,919	36,577,439,777	48,457,439,777
RATIOS	Net present value of total capital invested at 13.2%	25,837,191,469	57,669,816,471	51,882,331,374	87,191,914,710	90,473,922,284	154,139,172,288	141,437,681,831	212,176,848,503
	Internal rate of return on investment (IRR)	17.30%	22.03%	21.44%	26.62%	20.85%	25.79%	25.28%	30.73%
	Modified IRR on investment	17.21%	21.87%	21.30%	26.43%	20.80%	25.73%	25.22%	30.69%
	Net present value of total equity capital invested at 18%	20,935,374,480	45,889,693,874	42,775,126,808	70,502,148,356	73,087,992,588	122,996,631,374	112,951,879,373	168,405,922,469
Payback Period	Normal payback (Year)	7	6	6	6	6	6	6	5
	Dynamic Payback (Year)	11	9	9	7	9	7	7	6

# مزایای اجرای پروژه WHR

۴-۱- از یک کارخانه ۳۰۰۰ تنی حدود 4.5MW برق گارانتی شده تولید می شود که حدود ۳۰٪ برق مصرفی آن می باشد .

۴-۲- با اجرای این پروژه مصرف آب در برج خنک کن ((کولینگ تاور)) بدلیل کاهش حجم گاز های ورودی به آن کاهش یافته و دمای هوای فرآیند تا حد ایده آلی کم می شود که این شرایط باعث بهینه شدن فرآیند تولید می گردد .

۴-۳- با اجرای این پروژه ضریب اطمینان بیشتری در مقابل قطع یا کمبود برق ایجاد می شود .

۴-۴- با کاهش گاز های گلخانه ای می توان از طریق شرکت های CDM از مزایای مالی پیمان کیوتو استفاده نمود.

۴-۵- می توان برق تولیدی را در خط تولید مصرف کرده یا آنرا به قیمت هر کیلووات ۸/۴۵ ریال به شرکت برق فروخت .

با توجه به اینکه قیمت خرید برق یارانه ای هم اکنون ۲۰۰ ریال است فروش برق به شبکه سود بالایی به دنبال دارد .

جداول توجیه اقتصادی به پیوست می باشد .

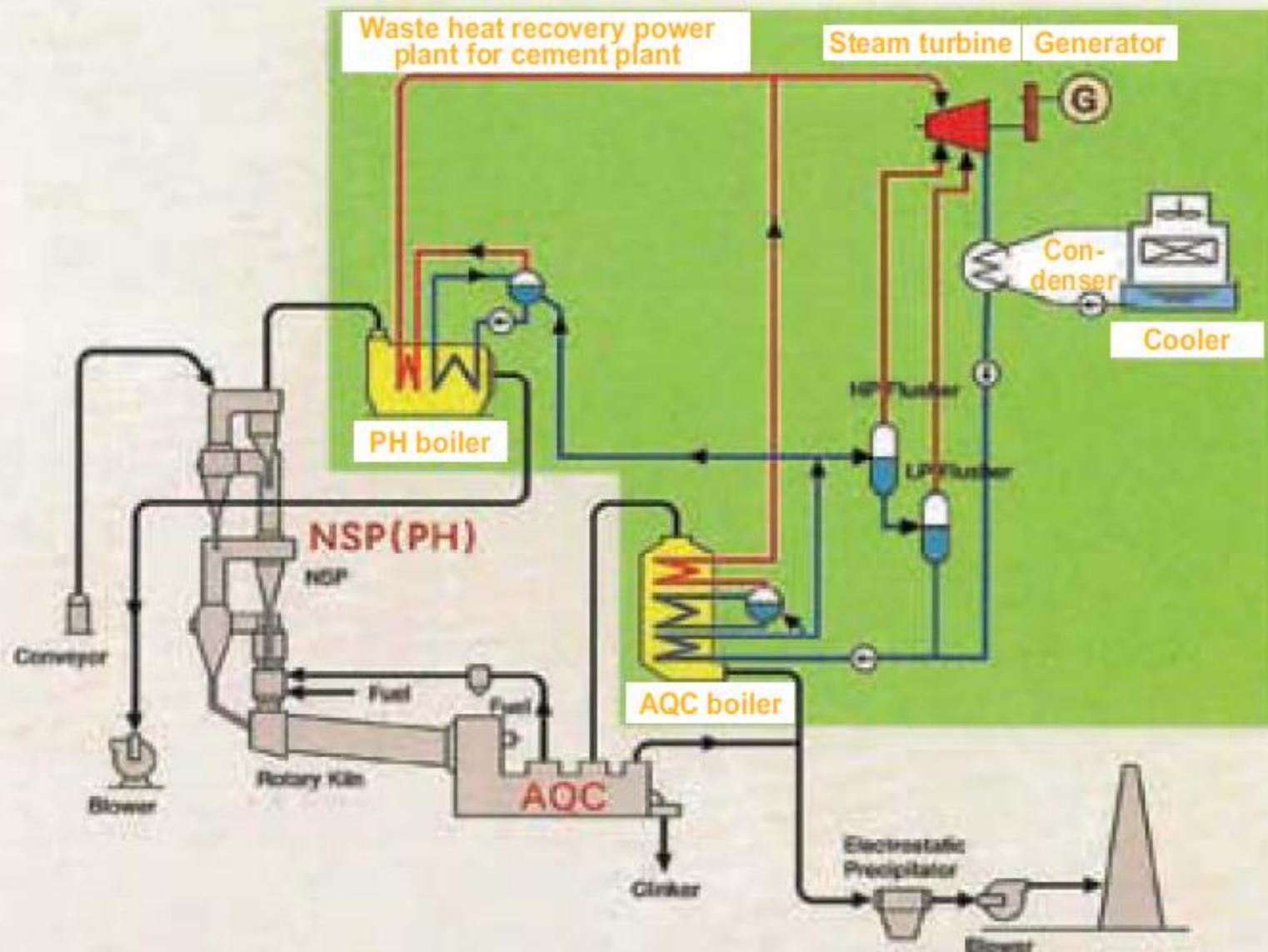
۴-۶- راندمان الکتروفیلترها بدلیل کاهش حجم گاز های ورودی به آنها افزایش می یابد.



Waste heat recovery power plant for cement plant  
(Conch Cement in China)



Waste heat recovery power plant for sintering cooler  
(Wuhan Steel in China)



System diagram of waste heat recovery power plant for cement plant



باتشكر