دلیل نوشتن این نوشتار(توضیحات) از آنجا شروع شد که چندی قبل در فضای اینترنت به دو ادعا برخوردیم که مطمئنا خواننده محترم نیز آنها را دیده و ممکن است برای خود سوال طرح نموده که این موارد تا چه اندازه حقیقت دارد. دو شخص ادعا می‌کردند:

- شخص اول که در ایران تشریف داشته و ادعا می‌کردند که چنانچه سوخت در اختیار من گذاشته شده و اجازه دهند آب خلیج فارس را بخار کرده تا باعث ایجاد ابر در زاگرس شده و بارندگی ایجاد شود.
- شخص دوم در اروپا (احتمالا در آلمان یا هلند) بوده و ادعا داشتند در صورتیکه دولت اجازه دهد من حاضرم سرمایه‌گذاری کرده و ریالی هم نمیخواهم (۲ تا چند میلیارد دلار) و تولید باران بکنم.

ابتدا متذکر شوم با توجه به عدم اطلاع از طرح‌های این دو شخص که مطمئنا برای صحبت‌های خود دلیل هم خواهند داشت (گذشته از منطقی یا غیر منطقی بودن) به ذهن می‌رسد که آیا این روش (یعنی بخار کردن آب و تولید ابر) ممکن است و اگر جواب مثبت است، هزینه‌های آن چه مقدار است؟ در حال حاضر به بحث صرفه اقتصادی داشتن آن نیز کاری نداریم، چراکه ممکن بودن این کار با دانش فعلی و تجهیزاتی که بشر در خدمت خود دارد، جای سوال است.

این نکته مهم را نیز یادآور شوم که ادعا ندارم اعداد و ارقامی که در اینجا ذکر می‌کنم دقیق بوده و عاری از خطا باشد، بلکه سعی کردم تا به واقعیت نزدیک باشد. بنابراین از خواننده گرامی درخواست دارم تا چنانچه نظر و یا اصلاحی در نظر دارد اطلاع داده تا پس از بررسی این متن اصلاح شود و قطعا باعث خوشحالی اینجانب و پربارتر شدن مطالب گفته شده، خواهد شد.

متدولوژی ارائه شده بدین صورت است تا در ابتدا انرژی مورد نیاز برای بخار آب را برآورد کرده و ببینیم چگونه می‌توان این انرژی را تولید و هزینه آن چقدر است؟ و سپس با استفاده از یک ارقام واقعی جهت تامین آب، هزینه اجرای طرح را برآورد و در آخر ممکن بودن آن را بررسی نمود.

۱ - انرژی مورد نیاز برای تبدیل یک مترمکعب آب دریا به بخار چقدر است؟

محاسبه انرژی مورد نیاز برای تبدیل ***۱ متر مکعب (۱۰۰۰ لیتر)*** آب دریا به بخار، به دو مرحله اصلی تقسیم می‌شود:

الف: گرم کردن آب تا نقطه جوش.

ب: تبدیل آب جوش به بخار آب.

ابتدا فرض کنیم دمای آب دریا ۲۰ درجه سانتیگراد است. پس خواهیم داشت:

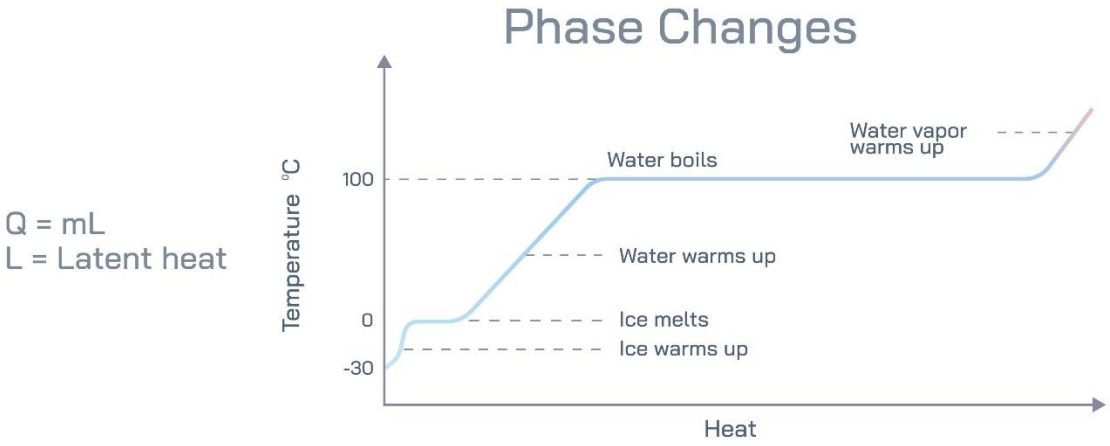
- حجم: $1m^3$
- چگالی یا Density : $1025\ kg/m^3$ (سنگین‌تر از آب شیرین یعنی $1025\ kg/m^3$ به دلیل نمک).
- جرم کل: $1025\ kg/m^3$
- شوری (Salinity) : حدود 3.5% (یعنی حدود ۹۶.۵٪ آن آب خالص است که تبخیر می‌شود).
- ظرفیت گرمایی ویژه (C_p) : حدود $3.99kJ/kg.°C$ (کمتر از آب شیرین).
- گرمای نهان تبخیر (L_v) : $2260\ kJ/kg$
- دمای اولیه: $20°C$ و دمای جوش: حدود $100\ °C$ (با صرف نظر از افزایش جزئی نقطه جوش).

۱-۱- انرژی لازم برای گرم کردن آب تا نقطه جوش یا همان گرمای محسوس.

$$Q_1 = m.\ C_p.\ \Delta T = 1025\ kg \times 3.99kJ/kg.°\ C \times (100\text{-}20=80) \approx 327{,}180\ kJ \approx 0.327\ mJ$$

۱-۲- در این مرحله بخش آب تبخیر می‌شود(نمک باقی می‌ماند). جرم آب خالص حدود ۹۸۹ (1025x0.965) کیلوگرم است.

$$Q_2 = m_{water}.\ L_v = 989\ kg \times 2260\ kJ/kg \approx 2{,}235{,}140\ kJ \approx 2.235\ mJ$$



نمودار تغییر فاز آب

۱-۳- جمع کل انرژی مورد نیاز برای بخار یک متر مکعب آب برابر است با:

$$Q_{Total} = Q_1 + Q_2 = 327{,}180 + 2{,}235{,}140 \approx 2{,}562{,}320 \text{ kJ} \approx 2.562 \text{ MJ}$$

$$Q_{Total} = 2{,}562{,}320 \text{ kJ} / 3{,}600 \text{ (second/hour)} \approx \underline{\mathbf{712 \text{ kWh}}}$$

نکته مهم درباره کارایی

این محاسبه "نظری" است و فرض می‌شود هیچ انرژی‌ای هدر نمی‌رود. در دنیای واقعی، به دلیل اتلاف حرارت، انرژی بیشتری مورد نیاز است. اما در سیستم‌های صنعتی (مانند آب‌شیرین‌کن‌ها)، از روش‌هایی مانند بازیافت حرارت یا خلا استفاده می‌کنند تا این عدد را به شدت کاهش دهند.

۲ - چنانچه بخواهیم از نفت یا گازوئیل به عنوان مبدل جهت تبدیل ۱۰۰۰ متر مکعب آب به بخار استفاده کنیم چه نیروگاهی نیاز داریم؟

برای تبدیل ۱۰۰۰ متر مکعب (۱ میلیون لیتر) آب به بخار، ما با یک حجم عظیم انرژی و تجهیزات صنعتی سروکار داریم. بسته به اینکه بخواهیم این حجم آب را در چه "مدت زمانی" (مثلا در یک ساعت یا در یک شبانه‌روز) به بخار تبدیل کنید، نوع "نیروگاه" یا "تجهیزات" متفاوت خواهد بود.

در اینجا دو سناریو (تجهیزات مورد نیاز و مقدار سوخت) را بررسی می‌کنیم:

۱-۲- مقدار سوخت مورد نیاز (گازوئیل یا مازوت)

بر اساس محاسبات قبلی، انرژی لازم برای تبدیل ۱ متر مکعب آب به بخار حدود ۵۶۲/۲ مگاژول بود. برای ۱,۰۰۰ متر مکعب، این عدد ۱,۰۰۰ برابر می‌شود .با در نظر گرفتن راندمان استاندارد بویلرها (حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد)، مقدار سوخت تخمینی به شرح زیر است:

انرژی کل مورد نیاز (با احتساب تلفات) :حدود ۳,۰۰۰,۰۰۰ مگاژول (۳ تراژول).

۱-۲-۱-اگر از گازوئیل استفاده کنیم:

ارزش حرارتی گازوئیل: حدود ۳۶ مگاژول در هر لیتر.

سوخت مورد نیاز: حدود ۸۳,۰۰۰ تا ۸۵,۰۰۰ لیتر گازوئیل (این معادل حدود ۳ تا ۴ تانکر بزرگ حمل سوخت است).

۱-۲-۲-اگر از نفت کوره (مازوت) استفاده کنیم:

ارزش حرارتی مازوت: حدود ۴۰ مگاژول بر کیلوگرم (حدود ۳۸ مگاژول بر لیتر).

سوخت مورد نیاز :حدود ۷۵,۰۰۰ تا ۸۰,۰۰۰ لیتر مازوت.

۲-۲- چه نوع نیروگاه یا تجهیزاتی نیاز داریم؟

پاسخ به این سوال کاملا به سرعت تولید بخار (دبی جرمی) بستگی دارد:

۲-۲-۱-اگر بخواهیم این کار را در ۱ ساعت انجام دهیم (۱۰۰۰ تن بخار در ساعت)، این نرخ تولید بخار بسیار عظیم است و به یک نیروگاه حرارتی بزرگ (Utility Power Plant) نیاز خواهیم داشت.

نوع تجهیزات از نوع بویلرهای عظیم واترتیوب (Water-Tube Boilers) است که در نیروگاه‌های تولید برق استفاده می‌شوند.

مقیاس این حجم بخار (۱۰۰۰ تن در ساعت) معادل ظرفیت بویلر یک نیروگاه برق بخار با توان تقریبی ۳۰۰ تا ۳۵۰ مگاوات الکتریکی است.

برای تجهیزات جانبی نیاز به برج‌های خنک‌کننده عظیم، سیستم‌های تصفیه آب (Demineralization) پیشرفته و پمپ‌های تغذیه فشار قوی خواهیم داشت.

۲-۲-۲- اگر بخواهیم این کار را در ۲۴ ساعت انجام دهیم (حدود ۴۲ تن بخار در ساعت)، این نرخ تولید در اشل صنعتی سنگین (مانند پتروشیمی‌ها یا پالایشگاه‌ها) قرار می‌گیرد.

برای تجهیزات به یک بویلر روم (Boiler House) صنعتی با چند دیگ بخار نیاز داریم و احتمالا نصب ۲ یا ۳ دستگاه بویلر واترتیوب صنعتی با ظرفیت هر کدام ۲۰ تا ۲۵ تن در ساعت. (بویلرهای فایرتیوب معمولا تا ظرفیت ۲۰-۳۰ تن ساخته می‌شوند و فشار کاری پایین‌تری دارند، لذا برای این حجم، واترتیوب گزینه‌ی مطمئن‌تری است).

نتیجه را به صورت خلاصه می‌توان در جدول زیر مقایسه کرد:

جدول مقایسه دو روش بدست آوردن بخارآب

پارامتر	گازوئیل مورد نیاز	نیروگاه برای تولید در ۱ ساعت	تجهیزات برای تولید در ۱ روز
تبدیل ۱۰۰۰ تن آب	۸۴,۰۰۰ لیتر	نیروگاه حرارتی بزرگ (نیروگاه بخاری)	موتورخانه صنعتی بزرگ (چند بویلر موازی)
توان حرارتی معادل	---	۷۰۰ تا ۸۰۰ مگاوات	۳۰ تا ۳۵ مگاوات

۳ - اگر بخواهیم برای این کار از انرژی خورشید استفاده کنیم چگونه می‌شود؟ ظرفیت نیروگاه خورشیدی چقدر است؟

استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید بخار در این حجم (۱۰۰۰ تن)، کاملا عملی است و در حال حاضر در صنایعی مانند ازدیاد برداشت نفت (EOR) یا آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی استفاده می‌شود.

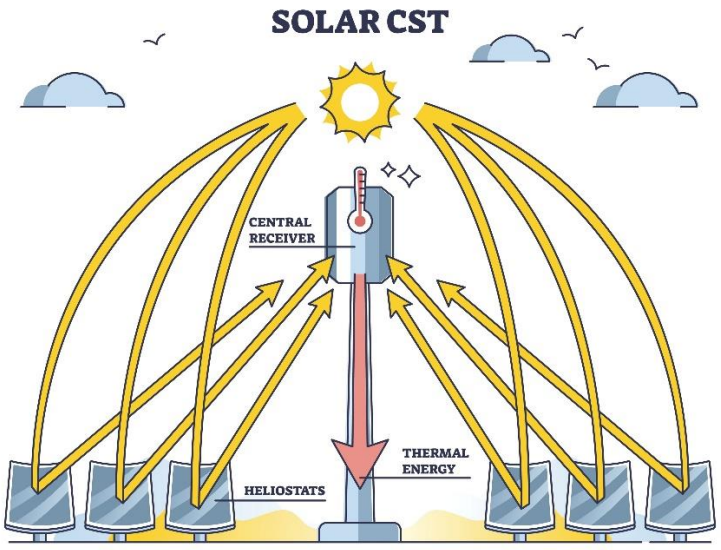
برای این کار دو روش اصلی وجود دارد که روش اول(حرارتی) برای تولید بخار بسیار کارآمدتر و منطقی‌تر است.

۳-۱- نیروگاه خورشیدی حرارتی(CSP: Concentrated solar power)

در این روش، به جای تولید برق، نور خورشید را مستقیما روی لوله‌های حاوی آب متمرکز می‌کنند تا آب بجوشد. بهترین تکنولوژی برای این کار (Parabolic Trough) است.

ظرفیت و تجهیزات مورد نیاز:

اگر فرض کنیم بخواهیم این ۱۰۰۰ متر مکعب آب را در طول یک روز آفتابی (حدود ۸ تا ۱۰ ساعت تابش مفید) به بخار تبدیل کنیم، به نیروگاهی با ظرفیت تقریبی ۹۰ تا ۱۰۰ مگاوات حرارتی(MW_{th}) نیاز داریم. زمین مورد نیاز حدود ۶۰ تا ۸۰ هکتار برای نصب آینه‌ها لازم است و ردیف‌های طولانی از آینه‌های خمیده که لوله‌های سیاه رنگ حاوی آب از کانون آن‌ها می‌گذرد.



مزیت این روش راندمان بالای آن(حدود ۶۰٪ انرژی خورشید به گرما تبدیل می‌شود) بوده و مستقیما بخار تولید می‌کند ، چالشی که در این روش با آن مواجه هستیم آن است که تولید بخار فقط در روز انجام می‌شود، مگر اینکه سیستم‌های گران‌قیمت ذخیره‌سازی گرما (نمک مذاب) نصب شده تا در شب هم بخار بدهد.

۳-۲- روش غیرمستقیم: پنل‌های فتوولتائیک (PV:Photovoltaics) + بویلر برقی

در این روش ابتدا برق تولید شده و سپس با المنت‌های برقی آب به جوش می‌آید. (البته این روش از نظر مهندسی برای تولید گرما توصیه نمی‌شود چون تبدیل نور به برق و سپس برق به گرما اتلاف زیادی دارد). ظرفیت مورد نیاز نیروگاه برق حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ مگاوات الکتریکی (MW_e) پنل خورشیدی است. زمین مورد نیاز حدود ۲۰۰ هکتار (بسیار وسیع‌تر از روش حرارتی) می‌باشد. هزینه اولیه پنل‌ها کمتر است، اما حجم پنل مورد نیاز بسیار زیاد خواهد بود.

جدول مقایسه سه گزینه تولید بخار

ویژگی	سوخت فسیلی (گازوئیل)	خورشیدی حرارتی(CSP)	خورشیدی برقی(PV)
مصرف سوخت	۸۴,۰۰۰ لیتر در روز	صفر (رایگان)	صفر (رایگان)
زمین مورد نیاز	ناچیز (موتورخانه)	~۷۰ هکتار	~۲۰۰ هکتار
ظرفیت نیروگاه	۳۰ مگاوات حرارتی	۱۰۰ مگاوات حرارتی	۱۴۰ مگاوات الکتریکی
کارایی تولید بخار	عالی	بسیار خوب	ضعیف (پیشنهاد نمی‌شود)

۴ – هزینه احداث نیروگاه خورشیدی در هر دو حالت و احداث نیروگاه با سوخت فسیلی

محاسبه اقتصادی این پروژه بسیار جذاب است، زیرا ما با یک تضاد کلاسیک در اقتصاد انرژی روبرو هستیم: "هزینه اولیه پایین با سوخت گران" در برابر "هزینه اولیه بالا با سوخت رایگان".

در اینجا یک برآورد تقریبی (Order of Magnitude Estimate) بر اساس قیمت‌های جهانی و استانداردهای مهندسی انجام می‌دهیم. (فرض ما تولید ۱۰۰۰ متر مکعب بخار در ۲۴ ساعت است).

۴-۱- گزینه سوخت فسیلی (نیروگاه بویلر متداول)

این گزینه مانند خرید یک خودروی ارزان‌قیمت اما بسیار پرمصرف است.

هزینه احداث(CAPEX) :

نیاز به یک موتورخانه صنعتی با ظرفیت حدود ۳۰ تا ۳۵ مگاوات حرارتی (سه بویلر ۱۰ مگاواتی) داشته که هزینه خرید بویلرهای باکیفیت، تاسیسات، سختی‌گیر آب و ساختمان به طور حدودی ۳ تا ۵ میلیون دلار است.

هزینه جاری - (OPEX) پاشنه آشیل:

طبق محاسبه قبلی، روزانه ۸۴,۰۰۰ لیتر گازوئیل نیاز داریم که مصرف سالانه برابر است با:

84,000 lit/day x 365 day/year = 30,660,000 lit/year

با قیمت جهانی (حدود 0.8 دلار برای هر لیتر) سالانه حدود ۲۴ میلیون دلار هزینه سوخت خواهد شد. با قیمت یارانه‌ای (در کشوری مثل ایران) اگر گازوئیل لیتری ۳۰۰ تومان باشد، هزینه سالانه حدود ۹ میلیارد تومان می‌شود (که در مقیاس صنعتی ناچیز است)، اما اگر با نرخ آزاد یا صادراتی محاسبه شود، هزینه وحشتناک است.

۴-۲-گزینه خورشیدی حرارتیCSP

این گزینه مانند ساخت یک سد است؛ هزینه ساخت سنگین، اما آب رایگان.

هزینه احداث(CAPEX) :

برای تولید ۱۰۰۰ تن بخار در روز (در ساعات آفتابی)، به یک نیروگاه ۱۰۰ مگاوات حرارتی نیاز داریم. هزینه جهانی تکنولوژی CSP برای تولید بخار صنعتی (Industrial Process Heat) پایین‌تر از تولید برق است و به صورت تخمینی حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ دلار به ازای هر کیلووات حرارتی یعنی حدود ۲۵ تا ۳۰ میلیون دلار.

هزینه جاری:(OPEX)

سوخت صفر است. هزینه تعمیر و نگهداری (شستشوی آینه‌ها و تعمیرات پمپ) حدود ۱٪ هزینه احداث در سال می‌توان منظور داشت.

۴-۳- گزینه خورشیدی فتوولتائیک + بویلر برقی(PV)

همانطور که قبلا اشاره شد، برای تامین ۱۴۰ مگاوات برق جهت بویلرهای برقی، هزینه پنل‌ها و اینورترها سرسام‌آور است و حدودا فراتر از ۱۰۰ میلیون دلار بوده که این گزینه از نظر اقتصادی مردود است.

جدول مقایسه دو گزینه قابل اعتنا

پارامتر	سوخت فسیلی (گازوئیل)	خورشیدی حرارتی(CSP)
هزینه ساخت و راه‌اندازی	۳ تا ۵ میلیون دلار (ارزان)	۲۵ تا ۳۰ میلیون دلار (گران)
هزینه سوخت سالانه (جهانی)	~۲۴ میلیون دلار	۰ دلار
زمین مورد نیاز	~۵۰۰۰ متر مربع	~۷۰ هکتار
پیچیدگی فنی	کم (تکنولوژی قدیمی)	زیاد (تکنولوژی های‌تک)

نتیجه‌گیری مالی (بسیار مهم)

۱ - با قیمت‌های جهانی انرژی، نیروگاه خورشیدی تنها در حدود ۱۴ ماه پول خود را برمی‌گرداند (زیرا سالی ۲۴ میلیون دلار در سوخت صرفه‌جویی می‌شود) و در اینجا خورشیدی بی‌رقیب است.

۲ - با قیمت‌های یارانه‌ای (ایران) اگر سوخت بسیار ارزان باشد، دوره بازگشت سرمایه خورشیدی ممکن است به ۵۰ سال برسد که توجیه اقتصادی ندارد.

اما یک راهکار میانه وجود داردکه آن سیستم هیبرید است و معمولا صنایع، یک سیستم خورشیدی نصب می‌کنند تا در روز گازوئیل مصرف نکنند و بویلر فسیلی را فقط برای شب یا روزهای ابری نگه می‌دارند. این کار مصرف سوخت را ۵۰٪ تا ۶۰٪ کاهش می‌دهد.

۵ – مقایسه هزینه گزینه خورشیدی فتوولتائیک + بویلر برقی

جهت مقایسه بد نیست این روش هم مورد مداقه قرار گیرد. این گزینه از نظر فنی ساده‌ترین مفهوم را دارد (تبدیل نور به برق و سپس تبدیل برق به گرما)، اما از نظر مهندسی و اقتصادی چالش برانگیزترین است. دلیل اصلی این است که یک «تبدیل انرژی اضافه» وجود دارد که هزینه را بالا می‌برد. در اینجا محاسبات برای تولید ۱۰۰۰ متر مکعب بخار در روز با استفاده از سیستم فتوولتائیک (PV) و بویلر برقی آورده شده است:

۵-۱- محاسبه ظرفیت مورد نیاز نیروگاه(Sizing)

برای محاسبه هزینه، ابتدا باید بدانیم نیروگاه چقدر باید بزرگ باشد. برای محاسبه انرژی کل مورد نیاز روزانه همانطور که در قبل محاسبه کردیم، برای ۱۰۰۰ متر مکعب حدود ۷۱۲,۰۰۰ کیلووات ساعت (kWh) انرژی لازم است. پنل‌های خورشیدی ۲۴ ساعته کار نمی‌کنند. به طور میانگین در یک منطقه آفتابی (مثل مرکز ایران)، روزانه حدود ۵/۵ ساعت تولید برق مفید (Peak Sun Hours) داریم. بنابر این ظرفیت پنل‌های مورد نیاز برای ۷۱۲,۰۰۰ کیلووات ساعت باید در همین ۵/۵ ساعت تولید شود.

$$\text{PV Capacity} = 712{,}000\ \text{kWh} / 5.5\text{h} \approx 129{,}454\ \text{kW}$$

یعنی ما به یک نیروگاه عظیم ۱۳۰ مگاواتی (130 MW) نیاز داریم.

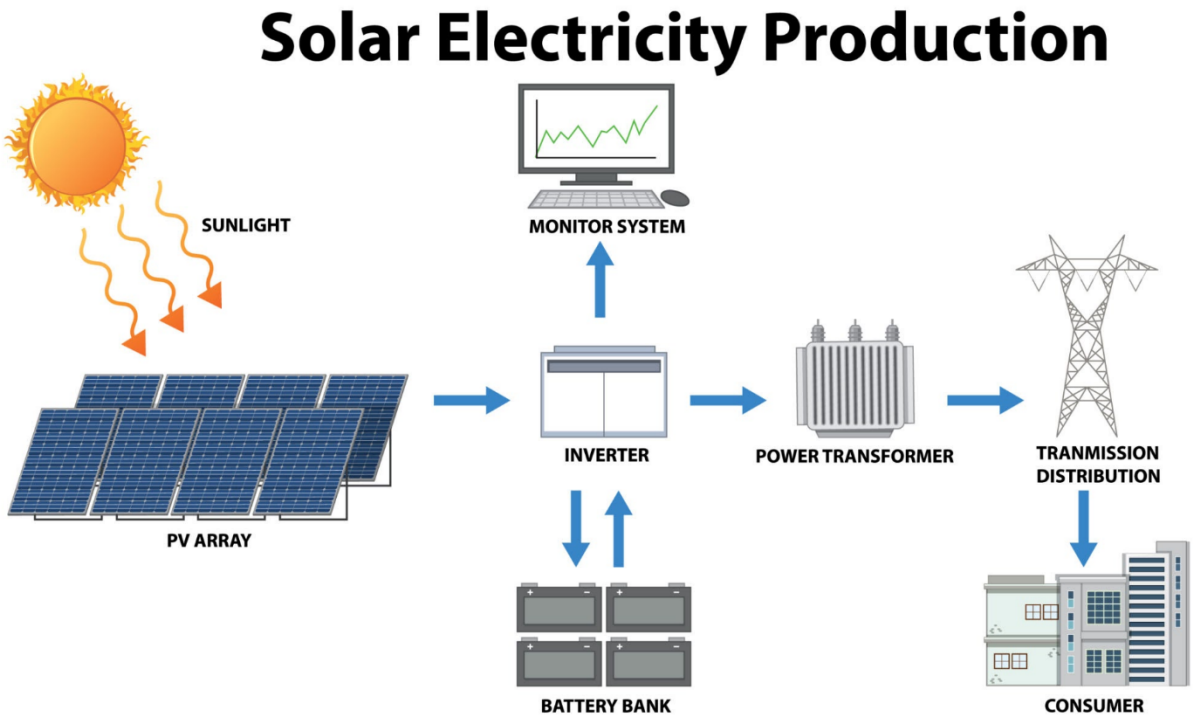
۵-۲- ریز هزینه‌های احداث(CAPEX)

بر اساس قیمت‌های جهانی سال ۲۰۲۴-۲۰۲۵ برای پروژه‌های بزرگ‌مقیاس:(Utility Scale)

۱ - هزینه نیروگاه خورشیدی(PV Plant) شامل پنل‌ها، اینورترها، سازه‌های فلزی، کابل‌کشی و پست برق با هزینه متوسط جهانی حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ هزار دلار به ازای هر مگاوات خواهیم داشت:

130 MW x 850,000$ = 110,000,000$

پس هزینه بخش خورشیدی حدود ۱۱۰ میلیون دلار خواهد شد.



۲ - هزینه بویلرهای برقی(Electric Boilers)

در این روش به بویلرهایی نیاز داریم که بتوانند ۱۳۰ مگاوات برق را به صورت لحظه‌ای دریافت و به گرما تبدیل کنند (المنت‌های عظیم صنعتی). هزینه متوسط برای این منظور حدود ۴۰ هزار دلار به ازای هر مگاوات حرارتی است بنابراین 130 x 40,000 = 5,200,000$ هزینه بویلر خواهد شد.

۳ - زمین مورد نیاز :

نیروگاه‌های فتوولتائیک فضای زیادی اشغال می‌کنند (حدود ۱.۵ تا ۲ هکتار برای هر مگاوات). بنابر این به زمینی با مساحت کل حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ هکتار (معادل حدود ۳۰۰ زمین فوتبال) نیاز است.

۵-۳- چالش بزرگ: مشکل ذخیره سازی در شب

محاسبه بالا (۱۱۵ میلیون دلار) فقط در صورتی صحیح است که بخار را فقط در ساعات میانی (۱۰ صبح تا ۴ بعدازظهر) نیاز داشته باشیم اما اگر بخواهیم ۱۰۰۰ متر مکعب آب را در طول ۲۴ ساعت بخار کنیم (جریان پیوسته)، پنل‌ها در شب برق تولید نمی‌کنند.

برای حل این مشکل دو راه خواهیم داشت:

- تولید بیش از حد در روز: بویلرها در روز با تمام قدرت کار کنند و با فرض تولید بخار یکنواخت در روز بخار آن را در مخازن تحت فشار ذخیره کنیم که این گزینه بسیار خطرناک و گران برای این حجم است.
- استفاده از باتری (BESS: Battery Energy Storage Systems) که برق را در باتری ذخیره کرده تا بویلرها در شب هم کار کنند. بنابراین باید حدود ۱۸ ساعت انرژی را ذخیره کنیم (حدود ۵۰۰ مگاوات ساعت). هزینه باتری‌های صنعتی (لیتیوم-یون) حدود ۳۰۰ دلار بر کیلووات ساعت است پس هزینه باتری برابر:

500,000 x 300$ = 150,000,000$ خواهد شد که اضافه کردن باتری، هزینه پروژه را بیش از ۲ برابر می‌کند و به ۲۶۵ میلیون دلار می‌رساند.

جدول خلاصه قیمت تمام شده در این گزینه

ردیف	آیتم	هزینه تقریبی (دلار)	توضیحات
۱	نیروگاه خورشیدی (۱۳۰ مگاوات)	۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰	پنل، اینورتر، نصب
۲	بویلرهای صنعتی برقی	۵,۲۰۰,۰۰۰	تجهیزات گرمایش
۳	زمین و زیرساخت (۲۰۰ هکتار)	۲,۰۰۰,۰۰۰	آماده‌سازی سایت
جمع کل (بدون باتری)	فاز روزانه	۱۱۷,۲۰۰,۰۰۰	فقط تولید بخار در روز
۴	سیستم ذخیره باتری (اختیاری)	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	برای تولید بخار در شب
جمع کل (با باتری)	فاز ۲۴ ساعته	۲۶۷,۲۰۰,۰۰۰	پروژه کامل و پیوسته

۶ – مقایسه تمام گزینه‌ها (به صورت خلاصه مدیریتی)

- نیروگاه فسیلی: ۳ تا ۵ میلیون دلار (ارزان‌ترین ساخت، گران‌ترین سوخت).
- نیروگاه خورشیدی حرارتی (CSP) : ۳۰ میلیون دلار (بهترین گزینه مهندسی برای بخار).
- نیروگاه فتوولتائیک (PV) : ۱۱۷ میلیون دلار (بسیار گران و غیرمنطقی برای تولید گرما).

تحلیل نهایی :گزینه فتوولتائیک (PV) برای تولید گرما حدود ۴ برابر گران‌تر از گزینه خورشیدی حرارتی (CSP)تمام می‌شود. در علم ترمودینامیک، تبدیل "فوتون به الکترون و سپس الکترون به گرما" مسیر ناکارآمدی است وقتی می‌توانیم مستقیما فوتون را به گرما (CSP) تبدیل کنیم.

حال که بحث مربوط به هزینه تولید بخار را تمام کردیم بحث دیگری را شروع خواهیم کرد.

۷ – برای تولید هر متر مکعب آب باران نیاز به به چه مقدار آب دریا داریم تا بخار شده و سپس تبدیل به ابر شده و بعد این ابر تبدیل به باران شود؟

این سوال نگاه بسیار زیبایی به طبیعت است. اگر بخواهیم طبیعت را به عنوان یک «کارخانه» در نظر بگیریم، محاسبه‌ی «مواد اولیه» (آب دریا) برای تولید «محصول نهایی» (۱ متر مکعب باران) بسیار شگفت‌انگیز است.

برخلاف بویلر صنعتی که ما ساختیم و راندمان مشخصی دارد، سیستم طبیعت «باز» است و تلفات بسیار زیادی دارد. برای اینکه ۱ متر مکعب (۱۰۰۰ لیتر) باران روی زمین ببارد، طبیعت باید حجم بسیار بیشتری آب را تبخیر کند.

در اینجا فرآیند را در سه مرحله بررسی می‌کنیم:

۷-۱- مرحله تبخیر (جداسازی نمک)

برای داشتن ۱۰۰۰ لیتر آب خالص (بخار)، ما باید آب دریا را تبخیر کنیم. آب دریا حدود ۳/۵٪ نمک دارد. بنابراین برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم بخار آب خالص، باید حدود ۱۰۳۵ کیلوگرم آب دریا تبخیر شود (۳۵ کیلوگرم نمک در دریا باقی می‌ماند که خود معضلی است وقتی با نیروی فشاری خارج از طبیعت آن را اجرا کنیم). تا اینجا نسبت تقریبا ۱ به ۱ است.

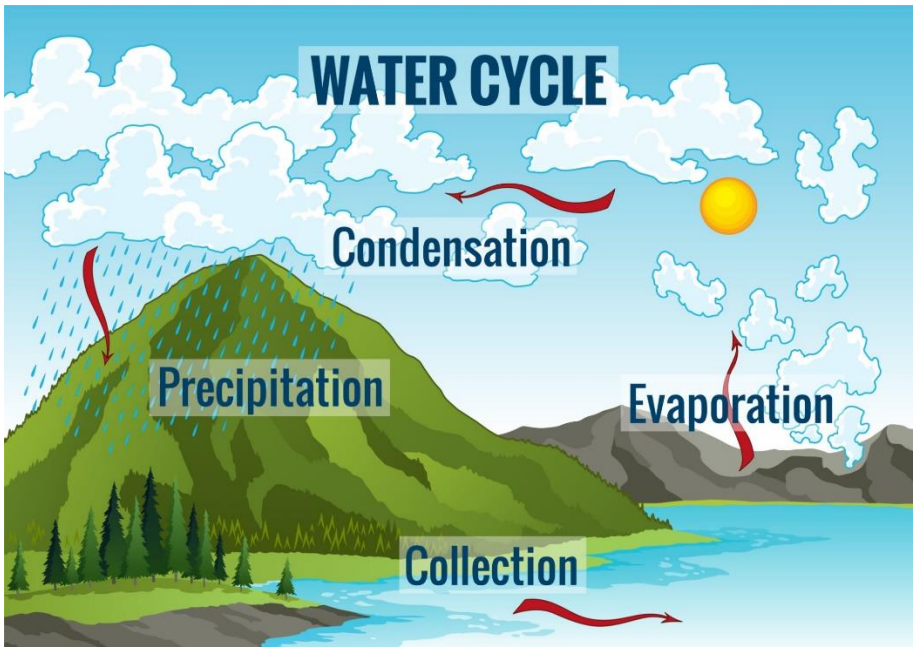
۷-۲- مرحله تشکیل ابر و انتقال (تلفات عظیم)

اینجاست که تفاوت اصلی رقم می‌خورد. وقتی بخار آب تشکیل می‌شود، همه آن تبدیل به ابری نمی‌شود که روی سر ما ببارد یا انتظار بارش از آن را داریم. عامل پراکندگی مهم است زیرا بادها بخار را در جو پخش می‌کنند.

آمار جهانی نشان می‌دهد که حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد از آبی که از اقیانوس‌ها تبخیر می‌شود، دوباره مستقیما روی خود اقیانوس می‌بارد و هرگز به خشکی نمی‌رسد (یکی از روش های طبیعت برای مقابله با شوری ناشی از تبخیر) بنابراین، برای اینکه ۱ واحد باران به «خشکی» برسد، اقیانوس باید حدود ۴ تا ۵ واحد آب تبخیر کند.

۷-۳- مرحله بارش (راندمان پایین ابرها)

حتی وقتی ابر تشکیل می‌شود و بالای سر ما می‌آید، تمام آب خود را خالی نمی‌کند. ابرها مثل یک اسفنج خیس هستند، نه یک سطل آب. وقتی باران می‌بارد، ابر کاملا خشک نمی‌شود. دانشمندان هواشناسی تخمین می‌زنند که در یک طوفان معمولی، یک ابر تنها حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد از رطوبت موجود در خود را به صورت باران آزاد می‌کند. مابقی آن به صورت بخار یا قطرات ریز در جو باقی می‌ماند و عبور می‌کند.



چرخه تولید آب از بارش

پس اگر بخواهیم محاسبه کنیم که طبیعت چقدر تلاش کرده تا ۱ متر مکعب باران را به دست ما در خشکی برساند:

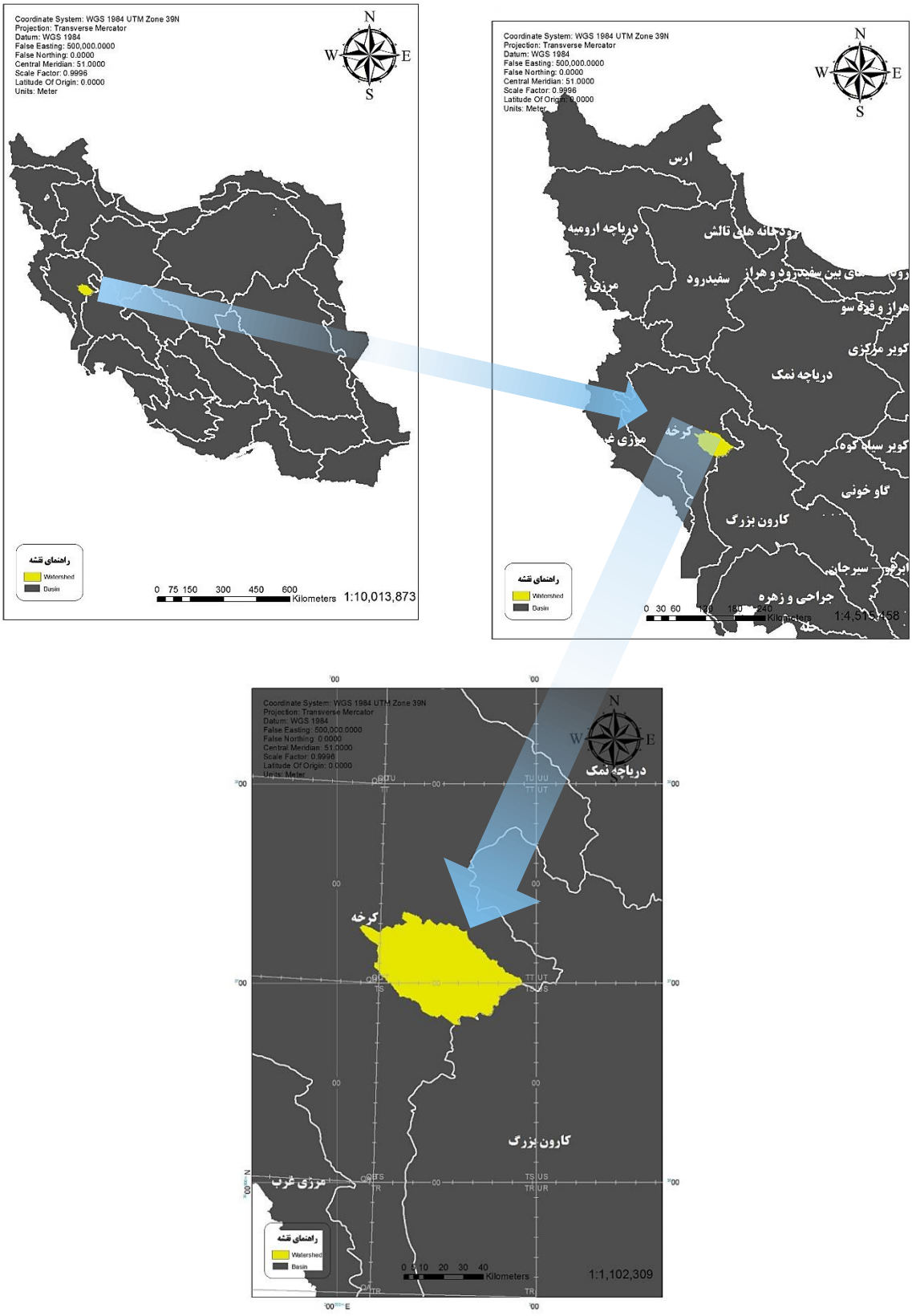
- از نظر فیزیکی (محتوای ابر): برای اینکه ۱ متر مکعب باران ببارد، ابری که بالای سر ماست باید حدود ۳ تا ۱۰ متر مکعب آب در خود داشته باشد (چون فقط بخشی از آن می‌ریزد).

- از نظر چرخه جهانی (Global Cycle) : با توجه به اینکه بخش زیادی از بخار روی دریا می‌بارد یا توسط باد پراکنده می‌شود، تخمین زده می‌شود که برای هر ۱ متر مکعب بارانی که روی خشکی می‌بارد، خورشید باید حدود ۴ تا ۵ متر مکعب آب دریا را تبخیر کرده باشد.

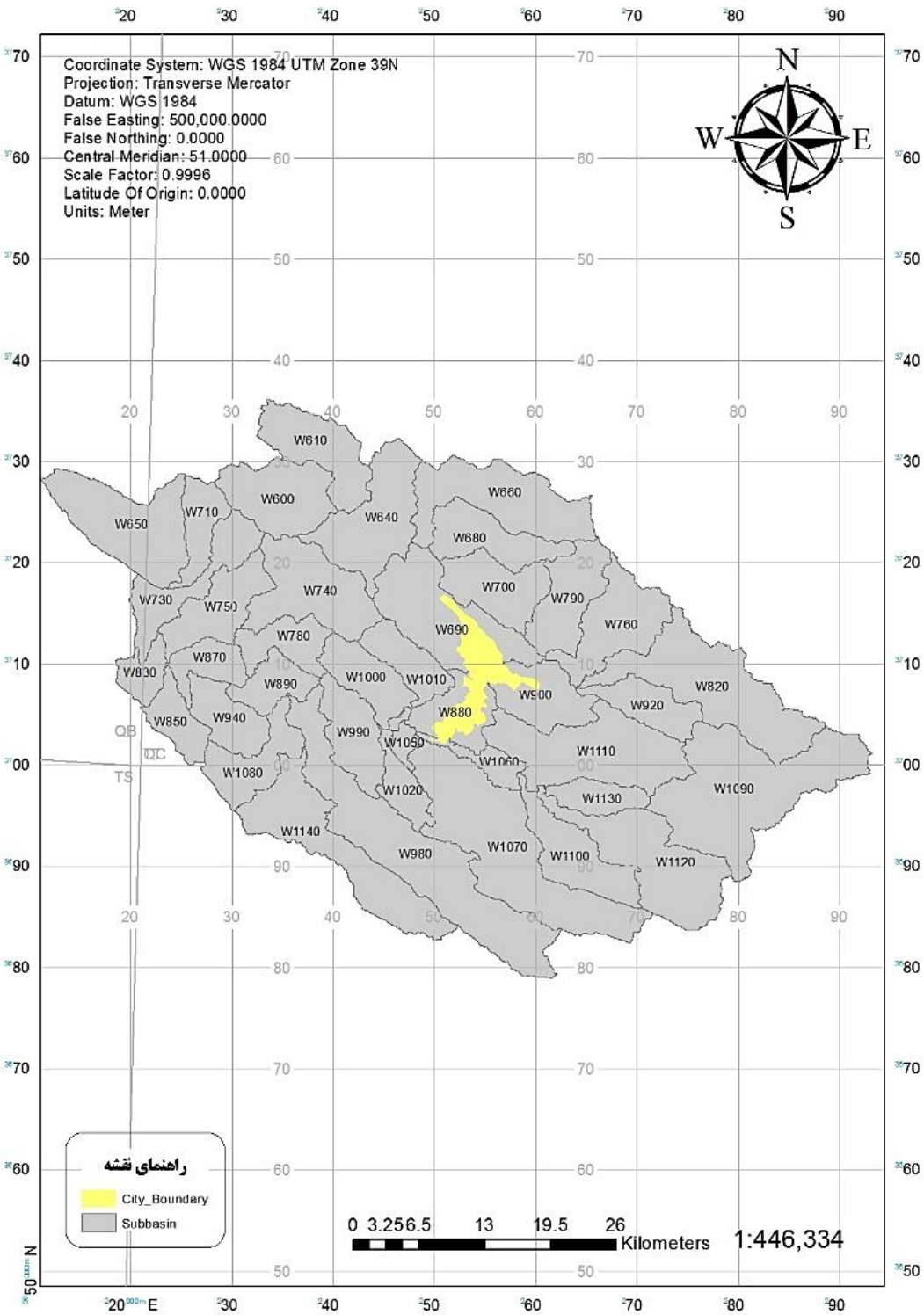
۸ – میزان آب و انرژی مورد نیاز برای یک حوضه آبریز واقع در غرب کشور

برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز از مطالعات هیدرولوژی رودخانه خرم‌آباد که در سال ۱۳۹۷ توسط مهندسین مشاور آبانگان‌پارس انجام و به تایید شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان رسیده است استفاده می‌نمایم.

حوضه آبریز خرم آباد به موقعیت جغرافیایی شکل زیر، به عنوان زیرحوضه درجه سه در حوضه آبریز درجه دو کرخه و حوضه آبریز درجه یک خلیج فارس واقع شده است. حدود و گستره این زیرحوضه در مجموعه رشته کوه‌های زاگرس قرار داشته که شامل شهر خرم آباد نیز می‌شود. همچنین از منظر موقعیت تقسیم بندی، می‌توان بخش جنوب شرقی این حوضه را مشرف به حوضه آبریز درجه دو کارون بزرگ دیده، و محل خروجی در آن به سمت مرکز حوضه آبریز کرخه می‌باشد.


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 39N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: 51.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter
N
W
E
S
راهنمای نقشه
Watershed
Basin
0 75 150 300 450 600
Kilometers
1:10,013,873
ارس
دریاچه ارومیه
سفیدرود
کویر مرکزی
دریاچه نمک
کرخه
کوپر سیاه کوه
گاو خونی
کارون بزرگ
سیرجان
جراحی و زهره
0 30 60
1:4,513,458
دریاچه نمک
کرخه
کارون بزرگ
مرزی غرب
0 10 20 30 40
Kilometers
1:1,102,309

موقعیت مکانی حوضه آبریز خرم آباد در زیرحوضه‌های درجه دو کشور



موقعیت منطقه شهری خرم‌آباد نسبت به حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد

این حوضه به لحاظ قرارگیری شهر خرم‌آباد در آن یک حوضه مهم به شمار می‌رود. در سیل ۱۱ و ۱۲ فروردین سال ۱۳۹۸ میزان دبی سیل در خروجی حوضه یعنی ایستگاه دوآب ویسیان با توجه به تخریب ایستگاه و خط داغ آب بیش از ۱۴۰۰ و کمتر از ۱۵۰۰ مترمکعب در ثانیه مطابق اعلام رسمی سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان بوده که در مطالعات مهندسین مشاور آبانگان‌پارس مصوب سال ۱۳۹۷ معادل سیل ۵۰۰ ساله و برابر ۱۴۷۰ متر مکعب درثانیه برآورد شده است.

مساحت این حوضه آبریز ۲۴۹,۱۹۳ هکتار یا ۲,۴۹۱ کیلومتر مربع در خروجی آن در محل دوآب ویسیان است. دبی پایه حدود ۸۵ ≈ ۸۴/۵۵ متر مکعب در ثانیه است. میزان حجم آب عبوری در یک شبانه روز از محل ایستگاه خروجی دوآب ویسیان برابر ۷,۳۳۴,۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز است:

$$85\ m^3/s \times 86{,}400\ s/day = 7{,}334{,}000\ m^3/day$$

میزان ارتفاع متوسط بارش برابر است با:

$$7{,}334{,}000\ m^3/day \,/\, 2{,}491{,}931{,}101\ m^2 \times 1000\ mm/m = 2.95\ mm.$$

یعنی به طور متوسط باید بر روی این حوضه آبریز به مساحت ۲,۴۹۱ کیلومتر مربع ۲/۹۵ میلیمتر به مدت یک روز بارندگی داشته باشیم تا بتوانیم در خروجی حوضه معادل دبی پایه آب داشته باشیم.

خواننده محترم باید این نکته مهم را در نظر داشته باشد که دبی پایه رودخانه فقط حاصل از ورود آب بارندگی نیست بلکه این میزان دبی در حوضه آبریز حاصل خروج آبهای زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات و ... نیز خواهد بود. از آنجاییکه در حال حاضر خوشبختانه به علت مدیریت عالی مدیران قسمت عمده آنها نیز خشک و یا کم آب شده‌اند و همچنین برای راحتی محاسبات فرض می‌شود فقط یک روز بارندگی بتواند آب مورد نیاز دبی پایه در دهه ۹۰ را تامین نماید.

مطابق آنچه در ردیف ۷ اشاره رفت برای این میزان آب حداقل به ۵ برابر آن یعنی ۳۶,۷۲۰,۰۰۰ مترمکعب آب دریا نیاز داریم یعنی:

$$7{,}334{,}000\ m^3/day \times 5 = 36{,}720{,}000\ m^3/day$$

گفتیم برای بخار هر متر مکعب آب ۷۱۲ کیلووات ساعت انرژی نیاز داریم که برای این حجم معادل ۱,۰۸۹,۳۶۰,۰۰۰ کیلووات یا ۱,۰۸۹,۳۶۰ مگاوات انرژی نیاز است:

$36{,}720{,}000\ m^3 \times 712\ kWh = 1{,}089{,}360{,}000\ kW = 1{,}089{,}360\ MW$

با فرض اینکه ادعا شده که از منابع نفتی کشور استفاده شود میزان گازوئیل مورد نیاز جهت تبخیر برای هر هزار متر مکعب آب دریا برابر :

$36{,}720{,}000\ m^3/day\ (sea\ water) / 1000\ m^3 \times 78{,}000(lit/1000m^3\ water) = 2{,}864{,}160{,}000\ lit$

این مقدار گازوئیل معادل ۱۴,۳۲۱ تانکر در روز است. (از هزینه خرید تانکر و یا احداث خط انتقال گازوئیل از پالایشگاه و ایستگاه پمپاژ آن صرف نظر می‌کنیم!!!!!)

و مطابق آنچه در ردیف ۲ و ۴ ذکر شد هزینه احداث (سرمایه گذاری اولیه) نیروگاه لازم برای این حجم آب با در نظر گرفتن ۱ میلیون دلار برای هر ۱۰۰۰ مترمکعب آب دریا (به جهت هم پوشانی نیروگاه‌ها باهم عدد ۳ تا ۵ میلیون دلار برای هر ۱۰۰۰ مترمکعب تقلیل داده شده است) برابر ۳۷ میلیارد دلار خواهد شد.

$36{,}720{,}000\ m^3/day / 1000\ m^3 \times 1\ million\$ = 36{,}720\ million\$ \approx 37\ billion\$$

و این فقط هزینه سرمایه گذاری اولیه است و فرض میشود هزینه جاری شامل نیروی انسانی، تعمیرات و نگهداری و ... ندارد!!!!!

هزینه گازوئیل با قیمت یارانه‌ای ۳۰۰۰ ریال (که البته بعید است دولت محترم آن را گران نکند) برابر ۸۵۹ میلیارد تومان و با در نظر گرفتن هر دلار معادل ۱۱۵ هزار تومان حدود ۷/۴۷ میلیون دلار در روز خواهد شد:

$2{,}864{,}160{,}000\ lit/day \times 3{,}000\ rials/lit / 10{,}000{,}000{,}000\ rials = 859\ billion\ toman$

فرض کنیم تمام این هزینه‌ها را فقط برای یک حوضه آبریز کوچک پذیرفتیم و آن را احداث کردیم. حال چالش‌های اساسی دیگری که پیش روست که حل آن را به عهده پیشنهاد دهنده محترم خواهم گذاشت!

۱ - رساندن این حجم بخار به ارتفاع مورد نیاز برای ابر (ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متری از سطح دریا).

۲ - هدایت بخار از خلیج فارس (حدود جزیره بوبیان) تا مرکز حوضه آبریز به طول ۴۲۰ کیلومتر.

۳ - سرد کردن بخار.

۴ - توزیع بارش باران بر روی ۲,۴۹۱ کیلومتر مربع.

۹- نتیجه گیری

بنابراین به طور خلاصه برای دریافت ۱ متر مکعب باران روی زمین، خورشید حدود ۵ متر مکعب آب دریا را تبخیر کرده است. این نشان می‌دهد که آبی که به صورت رایگان از آسمان می‌بارد، محصول یک فرآیند عظیم با مصرف انرژی وحشتناک (خورشیدی) و حجم جابجایی ۵ برابری است که ما بابت آن هزینه‌ای نمی‌پردازیم.

وقتی اعداد و ارقام مهندسی بشر را (که برای ما بسیار بزرگ و پرهزینه هستند) در کنار مقیاس‌های طبیعت می‌گذاریم، تازه متوجه می‌شویم که تکنولوژی ما در برابر "نیروگاه عظیم طبیعت" چقدر کوچک است.

و به عنوان یک نکته، کل انرژی که انسان‌ها در سراسر کره زمین در یک سال مصرف می‌کنند (شامل تمام برق، بنزین، گاز و...)، کمتر از انرژی‌ای است که خورشید تنها در یک ساعت به سطح زمین می‌تاباند و نشان می‌دهد که ما هنوز در ابتدای راه یادگیری از طبیعت هستیم.

و در پایان سوال مهم و اساسی این است که:

به جای این همه هزینه و مشکلات، ساده ترین، ارزانترین و کارآمدترین کاری که ما باید انجام دهیم فقط مدیریت بهینه نیست؟ و تمام فرآیندها را به طبیعت بسپاریم؟ آیا مدیریت بهینه آنقدر سخت است که از اجرای آن عاجزیم؟ آیا قحط الرجال مدیر لایق است؟ آیا وقت آن نرسیده که بفهمیم تا اینجا اشتباه کردیم و تمام راه‌هایی که رفتیم اشتباه بوده است؟

***