

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران

شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان غربی

گزارش نهایی:

رابطه بین تبخیر آب های شور و شیرین و تأثیر آن روی

تبخیر آب دریاچه ارومیه

شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان غربی

سازمان مجری:

دکتر میرعلی محمدی (عضو هیئت علمی دانشکده فنی دانشگاه ارومیه)

پژوهشگر:

زمستان ۸۳

چکیده:

دریاچه ارومیه وسیع ترین دریاچه داخلی کشور ایران است که مساحت سطح این دریاچه حدود نیم میلیون هکتار بوده (در سالهای مختلف متغیر بوده است) و دارای حوضه آبریز مستقلى در ناحیه شمال غرب ایران می باشد. با توجه به فقدان اندازه گیری مناسب تبخیر آب در دریاچه ها (مثل دریاچه ارومیه) برای تست نمودن یک فرمول جدید، به طور معمول یک اصلاحیه تخمینی برای فرمول تبخیر ارائه می شود که می تواند با اندازه گیری های تشتک کلاس A امریکایی (که در دسترس می باشد) میزان تبخیر سنجیده شود. در این گزارش، ادبیات موضوع تبخیر از سطح آب دریاچه ها مورد بررسی قرار گرفته و روش های برخورد با موضوع جهت بهره برداری کارشناسان و محققان دریاچه ارومیه بیان شده است.

داده های مربوط به درجه حرارت و تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در هر دو اندازه گیری برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه ارومیه، در ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، وابسته به شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی، مورد بررسی قرار گرفته و از جهت های گوناگون آنالیز و تحلیل شده اند. نمودارهای تغییرات درجه حرارت، تبخیر و همچنین تغییرات مقادیر متوسط سالیانه و ماهیانه آنها تهیه شده اند.

از بررسی نتایج چنین بر می آید که روند بررسی داده ها برای مقادیر متوسط سالیانه فقط برآوردهای کلی را نشان می دهند، لذا بهتر است داده ها برای مقادیر متوسط ماهیانه آنها در سالهای مختلف آنالیز شده و نتیجه گیری شوند. نتایج تحلیل داده ها نشان می دهد که نسبت تغییرات میانگین تبخیر سالیانه در آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی از یک معادله و فرمول خاصی پیروی نمی کند. البته این موضوع حاکی از پیچیدگی برآورد دقیق میزان تبخیر در دریاچه ارومیه است، لذا بایستی اندازه گیری های دیگری نیز به داده های موجود اضافه شوند (مثل سرعت باد، رطوبت، تابش خورشید، مقدار مواد محلول و غلظت نمک در آب و غیره).

غلظت مایع رابطه معکوس با میزان تبخیر دارد. ولی در آبهای دارای فیتوپلانکتونها (مانند آرتیمیا) جذب انرژی بیشتری صورت گرفته و میزان تبخیر افزایش پیدا می کند، لذا موضوع بررسی میزان تبخیر از سطح دریاچه ارومیه کار چندان ساده ای نیست. بررسی نتایج نشان می دهد میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی بیش از مقدار آن برای آب شور دریاچه است و از طرفی روند تغییرات میزان تبخیر تا حدودی تابع درجه حرارت می باشد. این نتیجه مؤید آن است که املاح و نمک موجود در آب دریاچه سبب کاهش مقدار تبخیر در آن می شود.

بررسی تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر نشان می دهد که روند میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی (En) و آب شور دریاچه در تشتک (Es) از معادله: $R^2 = 95.43\%$, $Es = 0.7874 En$ پیروی می نماید، که یک معادله خطی است. با استفاده از این معادله می توان تنها با اندازه گیری تبخیر در آب شیرین معمولی، به میزان تبخیر در آب شور دریاچه در تشتک تبخیرسنج دست یافت. در این صورت نه تنها خطای اندازه گیری کاهش می یابد بلکه از زمان اندازه گیری نیز کاسته می شود. حتی این معادله به عنوان یک رابطه کنترل کننده نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته این معادله با دسترسی به تعداد زیادی از داده های آماری تهیه شده از سایر ایستگاههای اندازه گیری در اطراف دریاچه ارومیه قابل بهبود است. نتایج حاصل در نهایت نشان می دهد، آب دریاچه ارومیه در حدود ۱/۷۴ درصد کمتر از آب تبخیر یافته از تشتک تبخیرسنج آب شیرین معمولی، تبخیر می یابد.

در خاتمه گزارش، خلاصه ای از لیست پیشنهادات به شرح زیر ارائه شده است:
شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی، داده های جمع آوری شده توسط سایر سازمانها و دستگاههای دیگر را به صورت دسته بندی شده تهیه نماید تا بتوان کلیه شرایط و همچنین از اثر سایر مناطق اطراف دریاچه نیز که در تبخیر مؤثرند، برای پیش بینی میزان دقیق تبخیر و سایر پارامترهای مهم و کلیدی بهره برداری نمود.

برای رسیدن به یک مدل مناسب که بیانگر پیش بینی میزان تبخیر دقیق باشد، لازم است اندازه گیری: **سرعت باد، تابش آفتاب، فشار جو، رطوبت نسبی محیط، وجود تلاطم در جریان دریاچه، مقدار مواد محلول در آب دریاچه (مثل نمک طعام)، وجود آرتیمیا، غلظت آب دریاچه و ویسکوزیته آن**، نیز انجام بگیرد. در این صورت از روش های موجود مانند روش پنمن، روش آیرودینامیک و یا سایر روشها که در این پژوهش به آنها اشاره شده است، و یا روش بیلان آبی، جهت برآورد دقیق میزان تبخیر از سطح آب دریاچه ارومیه می توان استفاده شود.

پیشنهاد می شود در ادامه این طرح تحقیقاتی، با ارائه و تصویب یک طرح پژوهشی دیگری با همکاری نگارنده، یک مدل کامپیوتری مناسبی برای پیش بینی میزان دقیق تبخیر در حوضه آبریز دریاچه و در سطح آب دریاچه (به طور جداگانه) تهیه شود. آنگاه از نتایج آن برای مدیریت بهنگام دریاچه ارومیه و منابع آبی موجود در حوضه آبریز آن می توان استفاده نمود.

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۳	۱. معرفی مختصری از ویژگی های دریاچه ارومیه و مقدمه ای بر طرح حاضر
۵	۲. هدف از اجرای طرح تحقیقاتی حاضر
۶	۳. تبخیر از سطح آب دریاچه ها
۷	۴. عوامل موثر در مقدار تبخیر از سطح دریاچه ها
۷	الف - اثر درجه حرارت یا گرمای محیط در میزان تبخیر
۸	ب - تأثیر باد در مقدار تبخیر
۱۰	ج - تأثیر فشار جو در میزان تبخیر
۱۰	د - تأثیر مواد محلول در میزان تبخیر
۱۰	هـ - تأثیر شکل و طبیعت سطح در مقدار تبخیر
۱۱	۵. اندازه گیری مقدار تبخیر از سطح آب دریاچه ها
۱۲	الف - تعیین مقدار تبخیر با استفاده از تشتک تبخیر (<i>Pan Evaporation</i>)
۱۵	ب - روش پنمن (<i>Penman, 1948</i>) برای تعیین تبخیر از سطح آب دریاچه ها
۱۷	ج - تعیین شدت تبخیر (<i>E</i>) از سطح آب دریاچه ها به روش آیرودینامیک
۱۹	۶. تعیین نسبت نرخ تبخیر آب دریاچه به تبخیر آب از تشتک اندازه گیری تبخیر
۲۱	۷. ارائه داده های تهیه شده
۲۳	۸. تجزیه و تحلیل داده ها و بحث روی نتایج
۲۹	۹. نتیجه گیری
۳۱	۱۰. پیشنهادات
۳۱	۱۱. تشکر و قدردانی
۳۲	۱۲. منابع و مراجع

فهرست اشکال و نمودارها:

شکل (۱). نقشه موقعیت دریاچه ارومیه (با مقیاس)

(http://encarta.msn.com/map_701514011/Urmia_Lake.html)

شکل (۲). نقشه تغییرات دریاچه ارومیه در سال های مختلف (بدون مقیاس)

(<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/coastal/mnm/ma04022a.htm>)

شکل (۳). تشتک تبخیر تیپ A امریکایی (*U.S. Pan Evaporation Class A*) و مشخصه های آن (صدقی، ۱۳۵۷).

نمودار (۴). تغییرات درجه حرارت متوسط سالیانه برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۵ برای آب شور دریاچه (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۵). تغییرات درجه حرارت متوسط سالیانه برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۸ برای آب شیرین معمولی (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۶). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شور دریاچه (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۷). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۸). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه به همراه معادلات برازش یافته آنها (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۹). ضریب تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر، a ، در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای نسبت آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۰). ضریب تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای نسبت آب شیرین معمولی به آب شور دریاچه، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۱). تغییرات متوسط ماهیانه درجه حرارت در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۲). تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، به همراه معادلات برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۳). تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در ارتباط با متوسط ماهیانه درجه حرارت در آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، به همراه معادلات برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۴). تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در آب شیرین معمولی نسبت به آب شور دریاچه، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

معرفی نمادها و علائم:

- a_p : ضریب تشتک تبخیر سنج،
 C : گرمای ویژه بر حسب $J/kg.k$ ،
 D : شیب سایکرومتریکی، تانژانت منحنی نسبت فشار بخار اشباع به درجه حرارت،
 e : فشار بخار هوا (h_p)،
 e_1 : فشار بخار در دمای آب دریاچه در ارتفاع z_1 ،
 e_2 : فشار بخار بر حسب میلی بار در ارتفاع z_2 ،
 E_p : تبخیر آب از تشتک،
 F : ضریب تغییرات دانسیته هوا به ازای تغییرات ارتفاع می باشد و برابر است با $(F=1-8.7 \times 10^{-5} z)$ ،
 H : شار انتقال حرارت از سطح آب به هوا،
 k : ضریب مربوط به زبری سطح (به ازای واحد سطح $0.01 \text{ s}^2/m^2$)،
 L : عبارت از گرمای نهان تبخیر (J/kg)،
 ln : عبارت از لگاریتم نپرین،
 Rs : شدت بازتابش نور خورشید از سطح دریا بر حسب (W/m^2) وات بر متر مربع،
 S : کاهش اشباع $S = e_s - e$ [$h.p_a$]،
 T : میانگین درجه حرارت بر حسب سلسیوس،
 Td : درجه حرارت نقطه شبنم،
 T و T_s : دمای هوا ($^{\circ}C$)،
 u : عبارت از سرعت باد (m/s)،
 Z : ارتفاع به متر،
 z_2 : ارتفاع اندازه گیری دمای شبنم،
 $(q_2 - q_1)$: تغییر رطوبت ویژه مابین هوا و نزدیک سطح آب،
 m_a : جرم هوا و واحد حجم،
 R_n : جریان خالص ورودی تشعشعات،
 u_* : سرعت برشی،
 k_s : ضریب ثابت سیکرومتریکی در معادله رونالد بر حسب $h.p_a/K$ ،
 e_w : فشار بخار آب اشباع در دمای سطح آب،

z_1 : ارتفاع اندازه گیری دما،
 m_v : جرم بخار آب در یک واحد حجم cm^3 از هوا،
 e_s : فشار بخار اشباع در دمای سطح آب ($h.p_a$)،
 r_a : مقاومت دیفیوژن (مابین آب و هوا)
 E_0 : تبخیر از سطح آب دریاچه،
 κ : ثابت جهانی ون کارمن،
 ρ : دانسیته هوا (kg/m^3).

۱. معرفی مختصری از ویژگی های دریاچه ارومیه و مقدمه ای بر طرح حاضر

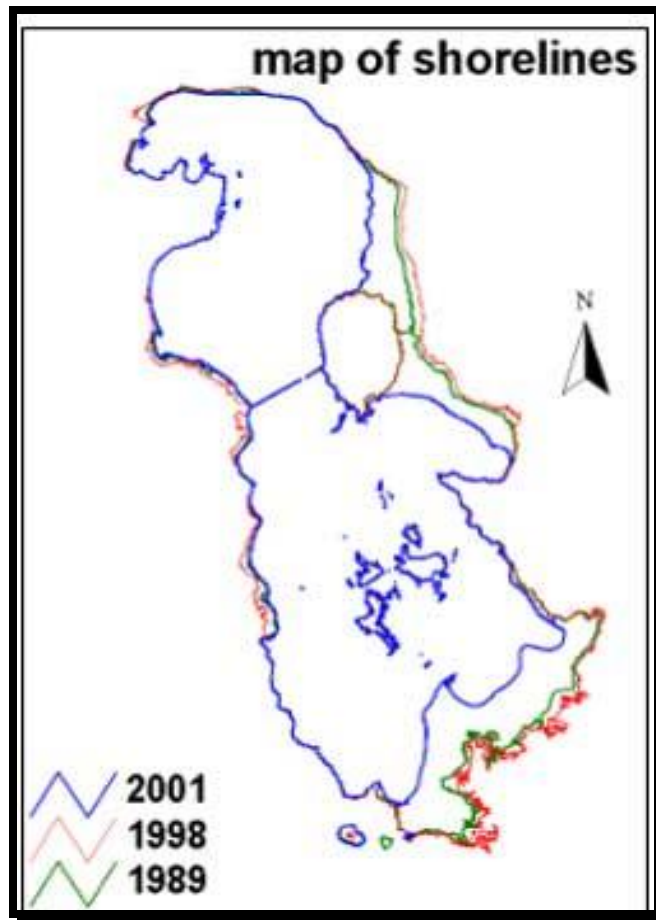
دریاچه ارومیه (شکل ۱) وسیع ترین دریاچه داخلی کشور ایران است که مساحت سطح این دریاچه حدود بیش از نیم میلیون هکتار (در سالهای مختلف متغیر بوده است) بوده و دارای حوضه آبریز مستقلی می باشد (شکل ۲). ارتفاع آن از سطح آب دریاهاى آزاد حدود ۱۲۷۶ متر بوده و طی سالیان اخیر (حدود ۵ دهه گذشته) نوسانی حدود ۴ متر را داشته است. اکوسیستم دریاچه ارومیه شامل کفه آبی دریاچه همراه با جزایر بزرگ و کوچک (۱۰۲ جزیره)، بیومهای آبی و خشکی و اکوتونهای با ارزش ملی و بین المللی است (مخدوم، ۱۳۸۱). به لحاظ پیدایش، دریاچه ارومیه جوان است و پس از دوره پلیوسن شکل یافته است (Kelts & Shahrabi، ۱۹۸۶). گفته می شود دریاچه ارومیه ابتدا دارای آب شیرین بوده ولی حدود ۳۵ هزار سال پیش رفته رفته شورتر شده است (غضبان و مهاجر با وقار، ۱۳۷۶). از حدود ده هزار سال پیش تاکنون، دریاچه از نمک اشباع شده و میزان املاح آن بین ۱۳۰ تا ۱۸۰ PPT بوده و در برخی سالها تا حدود ۲۳۰ PPT اندازه گیری شده است (جلیلی، ۱۳۷۴). میزان شوری آب دریاچه ارومیه در پائیز سال ۱۳۸۰ تا مرز بحرانی خود تا حدود ۳۰۰ PPT رسیده است (اسلامی، ۱۳۸۰).



Legend:

شکل (۱). نقشه موقعیت دریاچه ارومیه (با مقیاس)

(http://encarta.msn.com/map_701514011/Urmia_Lake.html)



شکل (۲). نقشه تغییرات دریاچه ارومیه در سال های مختلف (بدون مقیاس)

(<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/coastal/mnm/ma04022a.htm>)

ویژگی های هیدرودینامیکی دریاچه توسط نگارنده (محمدی، ۱۳۸۱) مورد بررسی قرار گرفته است. بنابه اظهار مخدوم (۱۳۸۱)، اکوسیستم های دریاچه و حوضه آبریز آن از دیرباز مورد توجه آزمندان و نیازمندان بوده است که با اجرای برنامه های عمرانی منطقی و گاهاً غیر منطقی (بدون ارزیابی و بدون در نظر گرفتن پیامدهای منفی) و یا بی برنامه گی، آنها را دستخوش تغییرات عدیده ای نموده است. برخی از این تغییرات برگشت ناپذیر (مثل ورود پساب های صنعتی، فاضلاب شهری، پساب های آبیاری کشاورزی و کود شیمیائی، احداث پروژه میانگذر دریاچه و) و برخی برگشت پذیر به شمار می آیند، مثل عدم جوجه آوری فلامینگوها (نقل از مطالعات مهندسين مشاور جامع ایران، ۱۳۷۲). به همین مناسبت و بر طبق دلایل و شواهد موجود راجع به اهمیت ملی و بین المللی این اکوسیستم ها، پژوهش ها، بررسی ها و طرح ریزی های بیشماری در اکوسیستم های دریاچه و حوضه آبریز آن انجام پذیرفته است. البته ناگفته نماند بعضاً دخالت مسئولین ذیربط در ارتباط با دریاچه ارومیه مانند شرکت سهامی آب منطقه

ای آذربایجان (غربی و شرقی)، سازمان محیط زیست، وزارت راه و ترابری (در ارتباط با مسائل احداث پروژه میانگذر) نقش های بسزائی روی مطالعات قید شده داشته اند.

به عنوان مقدمه برای این طرح می توان گفت، خیلی از ایستگاه های هواشناسی از تشتک US Class-A (Brutsaert, 1982) برای سنجش تبخیر به عنوان پایه محاسبه کاهش آب از سطح دریاچه ها یا محصولات کشاورزی استفاده می کنند (Hanson & Rauzi, 1977 و Doorenbos, 1977). ولی بیشتر موارد از چنین سنجش هایی برخوردار نیستند حتی جایی که تشتک وجود دارد اندازه گیری ها ممکن است با نگهداری نامناسب از وسیله دچار مشکل شود. این نگهداری نامناسب می تواند شامل ترکها، رشد جلبک در آب، اندازه گیری غلط سطح آب و یا رشد علف در کنار دیواره های تشتک باشد. همچنین سنجش تبخیر در زمان بارندگی به علت پاشیده شدن آب به درون تشتک و یا خارج از آن بسیار سخت می باشد (Bloemen, 1978). با توجه به این مشکلات پیدا کردن راهی با دقت قابل قبول برای تخمین تبخیر در تشتک براساس سنجش های قابل اطمینانی مانند درجه حرارت هوا بسیار مفید و با صرفه خواهد بود (Cahoon et al., 1991). چنین تخمین هایی می تواند اطلاعات لازم برای مناطقی که ما بین محل هایی با اندازه گیری های مطمئن قرار دارند را فراهم کند. و بدین وسیله سنجش های مشکوک را می توان کنترل نمود.

۲. هدف از اجرای طرح تحقیقاتی حاضر

این طرح بنا به درخواست شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی و تصویب کمیته تحقیقات آن سازمان، انجام گرفته و هدف از آن مطالعه موضوع تبخیر و اندازه گیری دقیق آن در دریاچه ارومیه با استفاده از اندازه گیری تبخیر آب شیرین و با به کار گیری تشتک تبخیر می باشد. هدف اصلی، یافتن رابطه ای منطقی ما بین تبخیر از آب های شور و شیرین در تشتک تبخیر و ارتباط آن با اندازه گیری های میزان واقعی تبخیر از سطح آب دریاچه ارومیه می باشد. نظر به اینکه تبخیر یکی از اساسی ترین پارامترها در این طرح تحقیقاتی و چرخه هیدرولوژیکی آب در طبیعت به شمار می آید، لذا لازم است ابتدا به آن موضوع و تحقیقات پیشین انجام یافته روی تبخیر از سطح آب دریاچه ها و به ویژه تبخیر از سطح دریاچه های شور (مانند دریاچه ارومیه) پرداخته شود. از جانبی به منظور انجام تحقیقات آتی روی تبخیر از سطح آب دریاچه ارومیه (جهت تهیه مدل مناسب برای پیش بینی میزان تبخیر آب دریاچه ارومیه) لازم می دانم آن موضوع را قدری کامل تر بررسی نمایم (البته برخی موارد جنبه یادآوری دارد) که به شرح زیر در عناوین ۳ تا ۷ از نظر محققان و کارشناسان گرامی می گذرد.

۳. تبخیر از سطح آب دریاچه ها

تبخیر فرآیندی است که در نتیجه آن آب از خاک و توده های آب موجود در کره زمین به اتمسفر باز می گردد (موحد دانش، ۱۳۶۶). به عبارت دیگر تبخیر فرآیندی است که توسط آن آب از حالت مایع یا جامد به حالت گاز یا اصطلاحاً بخار در می آید. در این فرآیند انرژی مورد نیاز از محیط خارج گرفته می شود. این انرژی در واقع برای تضعیف نیروهای میان مولکولی یخ یا آب استفاده می شود، لذا همواره تبخیر سبب کاهش درجه حرارت آب، در محیطی که فرآیند اتفاق می افتد، می شود. بیشترین مقدار تبخیر از سطح آزاد آب رخ می دهد (برای مثال تبخیر از سطح آب اقیانوسها، دریاها، مخازن سدها و غیره). اهمیت تبخیر از آنجا آشکار می شود که سالانه میلیونها مترمکعب آبهای شور و شیرین موجود در دریاها و دریاچه های طبیعی و دریاچه های مصنوعی سدها و..... تبخیر یافته و به هدر می روند. انجام فرآیند تبخیر در دریاچه ها و مخازن بسته (مثل دریاچه ارومیه) سبب تغییر در فرآیند سیکل یا گردش هیدرولوژیکی آب در طبیعت آن منطقه می شود. این موضوع باعث تغییر شدید در اکوسیستم های دریاچه ارومیه و افزایش شدید در غلظت آب نمک دریاچه می شود.

مقدار تبخیر تابعی از تشعشعات خورشیدی، اختلاف فشار بخار بین سطح آب و لایه اتمسفر بالای آن، درجه حرارت محیط، باد، فشار اتمسفر، و کیفیت آب تبخیری می باشد. کلیه این عوامل را می توان به دو دسته مجزا، تحت عناوین عوامل جوی و شرایط فیزیکی سطح تبخیر بررسی نمود (افشار، ۱۳۶۴).

به منظور تخمین میزان تبخیر آبها، شدت تبخیر را می سنجند. بنابه تعریف، سرعت انتقال آب به هوا را "شدت تبخیر" می نامند. به عبارتی، شدت تبخیر عبارت از مقدار بخار آب اضافه شده به اتمسفر در واحد زمان می باشد. شدت تبخیر یکی از عوامل مهم و موثر در محاسبه و تخمین میزان آب مورد نیاز یک منطقه است. به عنوان مثال، شدت تبخیر عامل تعیین کننده ای در مخازن ذخیره های مناطق خشک می باشد. اگر سطح دریاچه های مصنوعی که در نتیجه ایجاد سدها در کشوری ۳۵۰ کیلومتر مربع و مقدار تبخیر را بطور متوسط ۱/۲ متر در سال فرض کنیم، مقدار آب شیرین تغییر یافته به حدود ۴۲۰ میلیون مترمکعب می رسد که برای کشوری مثل ایران که در ناحیه خشک و نیمه خشک واقع شده است اهمیت حیاتی دارد. قابل توجه اینکه حدود ۷۵ درصد کل بارندگی سالیانه در سطح کره زمین دوباره بصورت تبخیر و تعرق به جو بر می گردد.

۴. عوامل موثر در مقدار تبخیر از سطح دریاچه ها

همانطور که قبلاً نیز بیان گردید، تبخیر پدیده ای است که در نتیجه آن آب از حالت مایع یا جامد به گاز یا بخار تبدیل می شود. عوامل موثر در تبخیر کاملاً شناخته شده اند، ولی ارزیابی هر یک از آنها به تنهایی کار بسیار مشکلی است. این امر بدان علت است که این عوامل در طبیعت توأم عمل می نمایند و لذا از نقطه نظر عملی بررسی هر عامل به تنهایی چندان مفید نمی باشد. از مهمترین عواملی که در مقدار تبخیر موثرند، عبارتند از:

- درجه حرارت یا گرمای محیط،
- باد،
- فشارجو،
- مقدار مواد محلول در آب (مثل نمک طعام)،
- وضعیت سطح تبخیر.

الف - اثر درجه حرارت یا گرمای محیط در میزان تبخیر

تأثیر گرمای محیط در میزان تبخیر کاملاً شناخته شده است. این تأثیر را باید در رابطه با افزایش انرژی جنبشی ملکولهای آب، در نتیجه کسب حرارت از محیط، بررسی و جستجو نمود. با افزایش گرما فشار بخار آب بالا می رود که این امر به علت افزایش انرژی جنبشی می باشد. از طرفی با افزایش گرمای محیط، فشار بخار موجود هوا نیز افزایش می یابد. چون میزان تبخیر متناسب با اختلاف فشار بخار بین دو محیط هوا و آب می باشد، لذا اگر افزایش درجه حرارت محیط و آب به یک میزان باشد، ممکن است اصولاً تبخیری در نتیجه بالا رفتن حرارت محیط و آب به یک میزان باشد، ممکن است اصولاً تبخیری در نتیجه بالا رفتن حرارت صورت نگیرد.

برای اینکه فرایند تبخیر پیوسته باشد و برای مدتی ادامه پیدا کند، باید همواره به گرمای محیط آب اضافه گردد، زیرا در نتیجه عمل تبخیر، محیط آب مقداری از حرارت خود را از دست می دهد و هنگامی که درجه حرارت دو محیط آب و هوا یکسان شود عمل تبخیر متوقف می گردد.

در مخازن کم عمق همواره یک پس افتادگی در حرارت محیط آب، نسبت به محیط هوا مشاهده می گردد، زیرا هوا سریعاً گرم می شود، ولی برای گرم شدن آب، مدت زمان بیشتری نیاز است. بدین علت

همواره وقوع حداکثر حرارت محیط آب و هوا یکسان نمی باشد. جالب توجه است هر گاه درجه حرارت دو محیط را بطور ماهیانه معدل گیری نمایند، این انطباق بطور نسبی اتفاق می افتد.

در منابع آبی با عمق زیاد، همانند مخازن سدهای بزرگ و دریاها و دریاچه ها، پس افتادگی درجه حرارت هوا و آب نسبتاً زیاد است، زیرا محیط آب مقدار زیادی انرژی را در اعماق خود ذخیره می کند و هنگامی که درجه حرارت هوا پایین می آید و سطح آب به تدریج سرد می شود، مقداری از این انرژی به سطح آب انتقال می یابد و محیط آب را در قشرهای بالایی و مجاور گرم تر می سازد. در منابع آبی عمیق صرفنظر از افزایش یا کاهش گرمای محیط آب، روند کلی حرارت آب با عمق کاهش می یابد. گرم بودن منابع آبی نسبت به جو مجاور، موجب کنترل درجه حرارت نواحی مجاور دریاها و دریاچه ها در فصل زمستان گردیده و سرمای سخت را تعدیل می نماید.

در هنگام فصل پاییز به تدریج از حرارت جو کاسته شده و متناسب با آن سطح آب نیز حرارت خود را از دست می دهد و به علت سرد شدن آب، وزن مخصوص آن تغییر می کند و لذا این آب سرد به عمق و آب های گرم تر لایه های زیرین به طرف بالا حرکت می نمایند. عمل فوق تا آنجا ادامه پیدا می کند که درجه حرارت آب تا حدود ۴ درجه سانتی گراد برسد، در این دما آب به حداکثر وزن مخصوص خود رسیده و لذا به علت عدم اختلاف وزن مخصوص، حرکت لایه های آب ضروری به نظر نمی رسد.

حال اگر فرض شود که دما در لایه های مجاور سطح آب از ۴ درجه سانتیگراد نیز پایین تر برود، وزن مخصوص آب کاهش می یابد که از وزن مخصوص لایه های زیرین کمتر است و بنابراین حرکتی در جهت عمق ایجاد نمی شود و آب های سرد در قسمت فوقانی دریاچه یا مخازن آبی باقی می ماند. با توجه به آنچه گفته شد چنین استنباط می شود که در مخازن آبی عمیق، دمای کم آب در فصل بهار موجب کاهش تبخیر و افزونی دمای آب در پاییز موجب افزایش تبخیر می گردد. چون در مخازن عمیق اشعه خورشیدی در لایه های زیرین به گرما تبدیل نمی شود، لذا انرژی لازم برای فرایند تبخیر ذخیره نمی گردد و از این رو در چنین شرایطی نمی توان انتظار داشت که رابطه محکمی بین دما و مقدار تبخیر بدست آید.

ب - تأثیر باد در مقدار تبخیر

همواره در محیط جو مقداری بخار آب وجود دارد. هنگامی که تبخیر اتفاق می افتد، ملکولهای آب آزاد شده به جو انتقال یافته و با مولکولهای آب موجود در جو برخورد می نمایند. حال اگر هیچگونه جریان

هوا در سطح مجاور وجود نداشته باشد، تبادل ملکولی بین آب و هوا به مرحله تعادل می رسد و به عبارت دیگر جو مجاور سطح آب، قابلیت پذیرش بخار آب را از دست داده و تبخیر کاهش می یابد. اما اگر هوای بالای سطح آب حرکت داشته باشد، ملکولهای آب موجود در جو را با خود می برد و محیطی ایجاد می کند که ظرفیت پذیرش ملکولهای آب بیشتری را دارد. با توجه به استنباط فوق چنین به نظر می رسد که هر چه سرعت جابجایی هوا یا سرعت باد بیشتر باشد، انتقال ملکولهای آب از سطح آب به جو سریع تر اتفاق می افتد و لذا بایستی با افزایش سرعت باد مقدار تبخیر نیز افزایش یابد. این امر با ایجاد تونل های باد و اندازه گیری مقدار تبخیر به اثبات رسیده است.

افزایش تبخیر در نتیجه بالا رفتن سرعت باد، تا آنجا ادامه پیدا می کند که باد بتواند تمامی ملکولهای آب را از محیط جو مجاور سطح آب، خارج نماید. اما افزایش سرعت باد از این حد بیشتر، تأثیر قابل ملاحظه ای در افزایش مقدار تبخیر ندارد. حال اگر جریان هوایی که از بالای سطح آب عبور می کند یک باد گرم باشد، همواره مقداری گرما به محیط آب اضافه می نماید و لذا میزان تبخیر در نتیجه افزایش دمای آب، افزون می گردد. بدیهی است وجود یک جریان هوای سرد موجب کاهش مقدار تبخیر می شود. باید توجه داشت که دمای آب، مستقل از سرعت باد و فشار بخار نیست. با فرض اینکه تبادل تشعشع حرارتی ثابت باشد، با افزایش سرعت باد مقدار تبخیر بالا می رود و این امر موجب می گردد که مقدار گرمای محیط آب کاهش یابد. در این حالت، کاهش حرارتی، بیش از مقدار دمایی است که محیط جو می تواند به محیط آب اضافه نماید و لذا عملاً میزان تبخیر همراه با کاهش حرارتی شروع به کاهش می نماید. این موضوع بخصوص در دریاچه ها و مخازن یا منابع کم عمق صادق است. در رابطه با وسعت سطح آزاد آب باید گفت که تأثیر باد در میزان تبخیر در سطوح بزرگ شدت بیشتری نسبت به سطوح کوچک نشان می دهد.

همان طور که قبلاً نیز اشاره رفت، عملاً در طبیعت نمی توان یک عامل را معیاری جهت اندازه گیری مقدار تبخیر بشمار آورد و تجارب حاصل از اندازه گیری های مختلف نشان می دهد که با افزایش ۱۰ درصد سرعت باد، مقدار تبخیر یک تا سه درصد افزون می گردد. این مسئله که سرعت باد به چه اندازه برسد تا مقدار تبخیر بطور قابل ملاحظه ای افزایش یابد، به دلیل وجود عوامل مختلف، مشخص نیست. اما شاید بتوان گفت که سرعت های بالاتر از ۴۰ کیلومتر در ساعت (۱۱ متر در ثانیه)، می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای در مقدار تبخیر داشته باشد. یکی از محققین، به نام هورتن (*Horton*) توصیه می کند که وقتی سرعت باد به کمتر از ۳۲ کیلومتر در ساعت برسد، افزایش مقدار تبخیر در نتیجه سرعت باد قابل ملاحظه نخواهد بود و می توان از اثر سرعت باد در تبخیر صرفنظر نمود.

ج - تأثیر فشار جو در میزان تبخیر

رقیق شدن هوا با ازدیاد ارتفاع از سطح دریا، که موجب کاهش فشار جو می شود، باعث می گردد تا ملکولهای آب با سرعت زیادتری از سطح آزاد آب فرار نموده و به جو انتقال یابند. در ارتفاعات، همواره ملکولهای آب کمتری در مجاورت سطح آزاد آب وجود دارد و لذا از این نقطه نظر هیچگونه مانع و ردایی که موجب جلوگیری از ورود ملکولهای جدید آب به جو مجاور گردد، وجود ندارد و یا کمتر وجود دارد.

لازم به یادآوری است که این مقایسه هنگامی امکان پذیر است که تمامی شرایط موجود جوی را ثابت فرض نمایند. در غیر این صورت و تنها با تکیه بر این نکته، به نتایج اشتباه آمیزی می رسند. مایر (Mayer) معتقد است که تأثیر جو در ارتفاعات با تغییراتی که در فشار بخار ایجاد می گردد جبران می شود و محقق دیگری به نام روور (Rohwer) برای تعیین تأثیر فشار جو بر مقدار تبخیر به اندازه گیری هایی دست زد و اثر فشار جو را بر اساس تجربیات خود حتمی دانست (نجمایی، ۱۳۶۸).

د - تأثیر مواد محلول در میزان تبخیر

فشار بخار آب خالص، در تحت شرایط معینی، با میزان درجه حرارت متناسب است. حال اگر یک ماده را در آب حل نمایند، در تحت همان شرایط قبلی، فشار بخار حلال کاهش می یابد. از طرفی مقدار تبخیر با اختلاف فشار بخار آب و جو مجاور، متناسب است و لذا با کاهش فشار بخار آب حاوی املاح، مقدار تبخیر کاهش پیدا می کند. نتایج عملی نشان می دهد که میزان تبخیر از محلول های نمکی یا آب های شور دریا و دریاچه ها، در شرایط یکسان، به میزان ۲ تا ۳ درصد کمتر از آب های شیرین در دریاچه ها و مخازن آبی است. این امر به اثبات رسیده که هر چه چگالی آب بیشتر باشد، مقدار تبخیر در شرایط یکسان کاهش می یابد.

ه - تأثیر شکل و طبیعت سطح در مقدار تبخیر

منظور از تأثیر شکل و طبیعت در مقدار تبخیر را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- ۱- در شرایط یکسان، مقدار فشار بخار یک سطح مسطح، از یک سطح مقعر بیشتر و از یک سطح محدب کمتر است. با توجه به موضوع فوق، در رابطه بین شکل سطح تبخیر با مقدار آن، سعی شده است که نتایج حاصله را در فرمولی خلاصه نمایند. ولی به صورت عملی به نتایج موثری دست نیافته اند.

۲- از نقطه نظر طبیعت سطح تبخیر، می توان از سطوحی که در معرض باران قرار می گیرند، مانند زمین های کشاورزی، کانال های آبیاری، مخازن مصنوعی پشت بندها و سدها، سطح دریاچه ها و دریاها و اقیانوس ها نام برد که از آن ها تبخیر صورت می گیرد و دسته دوم سطوحی مانند خیابان ها، اتوبان ها و فرودگاه ها هستند، که به صورت موقت مرطوب شده و از آن ها تبخیر صورت می پذیرد.

۳- مقدار تبخیر از سطوح اشباع با مقدار آن از سطح آزاد آب، در شرایط یکسان، برابر است. اما با کاهش مقدار رطوبت در سطوح اشباع، میزان تبخیر نیز کاهش می یابد و برای برقراری تعادل انرژی سیستم، درجه حرارت محیط بالا می رود.

تبخیر از سطوح پوشیده از برف، هنگامی که فشار بخار برف از فشار بخار هوای مجاور بیشتر باشد، صورت می گیرد. بطور کلی به علت تغییر حالت یخ به آب، در درجه حرارت صفر، میزان تبخیر از سطوح پوشیده از برف به مراتب از سطوح آزاد آب کمتر است.

۵. اندازه گیری مقدار تبخیر از سطح دریاچه ها

مقدار تبخیر را همانند «بارش» بر حسب ارتفاع در واحد سطح اندازه گیری می نمایند. واحد اندازه گیری در سیستم متریک بر حسب سانتیمتر و در سیستم انگلیسی بر حسب اینچ (۲/۵۴ سانتیمتر) بوده و در هر دو سیستم تا دو رقم اعشار بکار می برند. آشکار است که برای تعیین حجم کل آبی که در اثر تبخیر از دست می رود بایستی ارتفاع تبخیر را در سطح تبخیر ضرب نمود. روش های مختلفی برای اندازه گیری مقدار تبخیر وجود دارد که در بعضی از آن ها مستقیماً مقدار تبخیر را بدست می آورند و یا گاهی از روش غیرمستقیم با استفاده از فرمول هایی به مقدار تقریبی تبخیر دست می یابند. اطلاعاتی که از تبخیر یک ناحیه مورد لزوم است عبارتند از:

- مقدار تبخیر روزانه ایستگاه ها و متوسط آن در یک محل یا حوضه آبریز
- مقدار تبخیر ماهیانه
- مقدار متوسط تبخیر سالیانه از تشتک تبخیر
- مقدار متوسط ضریب تشتک
- مقدار متوسط تبخیر سالیانه از سطوح آزاد آب مانند سطح دریاچه های پشت بندها و سدها
- منحنی تغییرات تبخیر سالیانه و میانگین تبخیر سالیانه حوضه آبریز یا نقطه بخصوصی از حوضه.

حال بطور اختصار روش های گوناگون تعیین تبخیر را بررسی می نمایم.

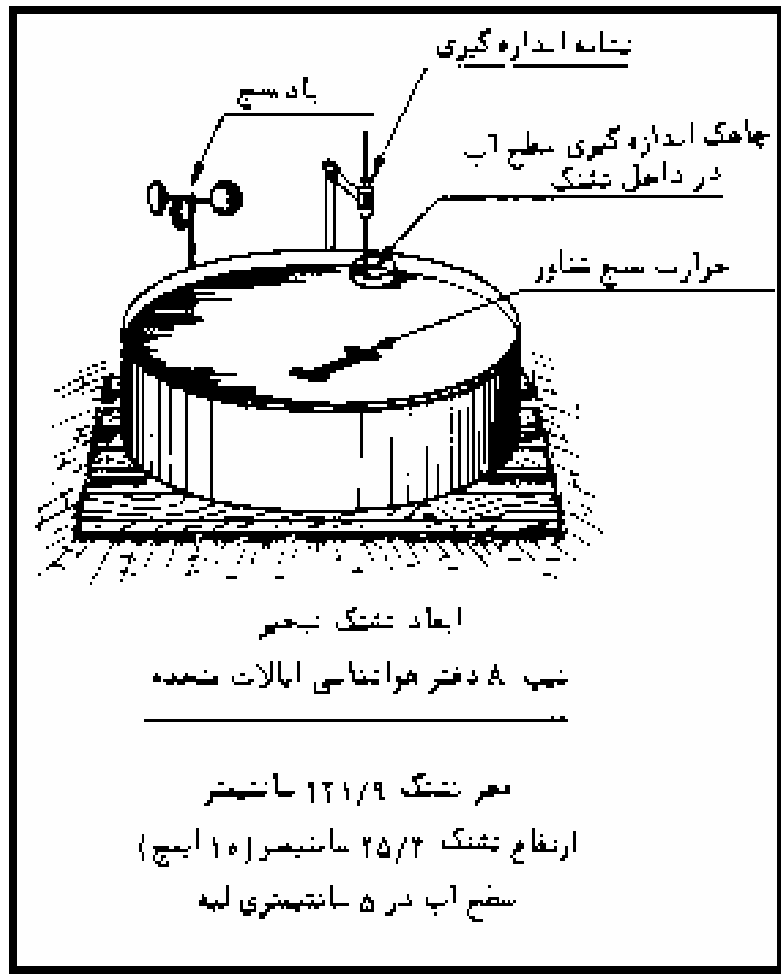
الف - تعیین مقدار تبخیر با استفاده از تشتک تبخیر (Pan Evaporation)

ساده ترین، متداول ترین و عملی ترین روش برای تعیین مقدار تبخیر، استفاده از تشتک تبخیر است. منظور از تشتک تبخیر یک ظرف استوانه ای شکل است که معمولاً از آهن گالوانیزه بدون رنگ ساخته شده که آن را از آب پر نموده و در معرض تابش اشعه خورشید قرار می دهند و مقدار تبخیر را بر حسب ارتفاع اندازه می گیرند. در کشورهای مختلف از ابعاد متفاوتی برای تشتک تبخیر استفاده می نمایند. برای نمونه در شوروی سابق و بعضی از کشورهای بلوک شرق، از تشتک هایی استفاده می کنند که مساحت سطح آنها ۳۰۰ سانتیمتر مربع است. در آمریکا از یک نوع تشتک به نام تشتک تبخیر استاندارد نوع A (Pan Evaporation Class A)، که توسط اداره هواشناسی آن کشور پیشنهاد شده است، بهره گرفته می شود (شکل ۳). ابعاد این تشتک به ترتیب ۱۲۲ سانتی متر قطر، ۲۵/۴ سانتی متر عمق، ۱۱۶۷۴/۵ سانتی متر مربع سطح و حجم آبی که در این تشتک در موقع اندازه گیری ریخته می شود، در حدود ۲۳۷/۲۳ لیتر و حداکثر عمق آب در تشتک ۲۰/۳۲ سانتی متر انتخاب شده است. هنگامی که مقدار تبخیر به ۲/۵ سانتیمتر برسد، دوباره تشتک را تا ارتفاع ۲۰/۳۲ سانتی متر پر می نمایند و در واقع با ۲/۵ سانتیمتر تبخیر، حجم آبی که از تشتک تبخیر شده به ۲۹/۶۵ لیتر می رسد. در بعضی از نقاط، از تشتک هایی استفاده شده که سطوح آنها در حدود ۲۰۰۰ و گاهی اوقات ۷۰۰۰ سانتیمتر مربع می باشد. برای نمونه تشتکی با قطر ۱/۸۳ متر، عمق ۰/۶۰ متر با حجم آبی در حدود ۱۵۹۷ لیتر، که در حدود چند سانتیمتر از خاک بیرون است، آمار مناسبی جهت تخمین تبخیر بدست می دهد که به مقدار تبخیر از پشت سدها بسیار نزدیک است.

باید توجه داشت که هر چه سطح و حجم تشتک بیشتر باشد، عدد اندازه گیری شده به عنوان مقدار تبخیر، به مقدار واقعی تبخیر از دریاچه سد نزدیک تر می باشد. البته چون برای تبدیل ارقام تبخیر از تشتک، به مقدار تبخیر از دریاچه سد، از ضریب ثابتی استفاده می شود، لذا بزرگی و کوچکی تشتک تبخیر، مسئله چندان مهمی نمی باشد. اداره هواشناسی کشورمان از تشتک های تبخیر با ابعاد ۲۰ سانتی متر عمق و ۱۵۰ سانتی متر قطر برای اندازه گیری مقدار تبخیر، استفاده می نماید.

توجه به این نکته ضروری است که معمولاً در هر کشور تا حد امکان از یک نوع تشتک استفاده می شود تا جهت مقایسه آمار در سرتاسر کشور اشکالی پیش نیاید و لذا ابعاد تشتک با مشورت هیدرولوژیست ها و همکاری اداره هواشناسی کشورها تعیین می گردد. برای کار گذاشتن این تشتک ها

از قطعات چوبی تراورس مانند، استفاده می شود تا تشتک در زمان تماس مستقیم با خاک نباشد و لذا از تبادل حرارت بین خاک و تشتک جلوگیری می شود.



شکل (۳). تشتک تبخیر تیپ A امریکایی (U.S. Pan Evaporation Class A) و مشخصه های آن (صدقی، ۱۳۵۷).

برای اندازه گیری مقدار تبخیر از یک خط کش مدرج که در کنار تشتک نصب شده و یک قطعه فلز که در انتها به قلاب سوزنی شکل وصل است و روی خط کش بالا و پایین می رود، استفاده می شود. مقدار تبخیر روزانه از اختلاف ارتفاع آب در روز قبل و روز اندازه گیری، با توجه به تصحیحی که برای بارندگی (اگر در روز اندازه گیری، بارندگی اتفاق افتاده است ارتفاع بارش را به اختلاف ارتفاع اضافه می نمایند) لازم است، محاسبه می گردد. تشتک های تبخیر را در موقعیت های مختلفی قرار می دهند که به ترتیب تشتک تبخیر سطحی (Surface Pan)، تشتک تبخیر زمینی (Sunken Pan) و تشتک تبخیر شناور (Floating Pan) نامیده می شود.

اطراف تشتک تبخیر سطحی باید محیطی آزاد و باز وجود داشته باشد که از جریان طبیعی هوا، باد، جلوگیری ننماید و به علاوه در هیچ زمانی در معرض سایه درختان و یا ساختمان ها و احیاناً سایه کوه قرار نگیرد. برای کار گذاشتن این تشتک ها از قطعات چوبی تراورس مانند، استفاده می شود تا تشتک، در تماس مستقیم با خاک قرار نگیرد (شکل ۱). در این نحوه قرار دادن تشتک، تبادل حرارتی از دیواره های تشتک به حجم آب صورت می گیرد. این نوع تشتک ها از متداول ترین نوعی است که همواره استفاده می شود.

تشتک های تبخیر زمینی را در زیر سطح زمین کار گذاشته و اطراف آن را خاک می ریزند، لذا این نوع تشتک ها هم تراز سطح زمین و در تماس کامل با خاک قرار دارند. فایده این روش کار گذاشتن تشتک، جلوگیری از تبادل حرارتی بین دیواره های تشتک و آب درون آن است. تشتک های زمینی دارای نواقصی نیز هستند، برای مثال این نوع تشتک ها از خرده چوب و سایر موادی که باد می آورد انباشته می شود و یا اینکه در موقعی که خاک قرار دارد اگر سوراخ کوچکی در تشتک ایجاد شود قابل تشخیص نمی باشد و به علاوه هیچ گونه ارزیابی در مورد تبادل حرارتی بین خاک و دیواره های تشتک وجود ندارد. در نوع سوم یا تشتک های شناور، تشتک را در روی دریاچه قرار می دهند تا تبادل حرارتی نامناسب به حداقل خود تقلیل یابد. گرچه به نظر می رسد که این روش دقیق ترین آمار مربوط به تبخیر را بدست می دهد، ولی عملاً استفاده از آن چندان معمول نیست و علت این امر اشکالاتی است که در عمل بوجود می آید. برای نمونه مشکل دسترسی به این تشتک ها که در روی دریاچه شناور هستند، یا پاشیده شدن آب دریاچه به داخل تشتک و برعکس، یا عدم تشخیص سوراخ های ریز تشتک و سایر مشکلات دیگر از عوامل محدود کننده می باشند.

سازمان بین المللی هواشناسی (WMO) به منظور مقایسه تشتک ها، بر روی تشتک های سطحی، زمینی و شناور مطالعاتی انجام داده تا مناسب ترین نوع تشتک تبخیر را معرفی نماید. از نتایج حاصله چنین برمی آید که تشتک های سطحی از نقطه نظر سهولت کار، نگهداری و کشف سوراخ های ریز تشتک، بر انواع دیگر ترجیح دارد. اما تشتک های شناور نتایج دقیق تری از مقدار تبخیر بدست می دهد. در هر حال از انواع تشتک ها می توان برای اندازه گیری مقدار تبخیر استفاده نمود و هر کدام نیز فواید و یا نقایص مربوط به خود را دارد که ترجیح و انتخاب یکی را بر دیگری مشکل می سازد.

لازم به تذکر است که هرگاه لازم باشد آمار مربوط به تبخیر نواحی مختلف که با تشتک های متفاوت، از نظر اندازه، مقایسه شود باید تبادل حرارتی بین حجم آب و محیط خارج از طریق دیواره های تشتک را در نظر گرفت. به دلایل گوناگون مقدار تبخیری که از تشتک تبخیر بدست می آید بیشتر از مقدار

تبخیر از سطح آزاد آب در آن منطقه است. بارزترین علت آن عواملی است که موجب تبادل حرارتی در دو سیستم می شود. تبادل حرارت موجب گرم شدن بی اندازه تشتک می گردد و لذا مقدار تبخیر را بیش از آنچه در دریاچه اتفاق می افتد، نشان می دهد.

برای تبدیل آمار و ارقام مربوط به تشتک تبخیر، به نتایج قابل استفاده در دریاچه سد، از ضریبی استفاده می شود که اصطلاحاً به ضریب تشتک (*Pan coefficient*) معروف است. بر حسب تعریف، ضریب تشتک عبارت است از نسبت بین مقدار تبخیر در دریاچه و مقدار تبخیری که از تشتک تبخیر، به جو انتقال یافته است. با توجه به این مطلب که همواره مقدار تبخیر از تشتک بیشتر از تبخیر از دریاچه است، ضریب تشتک همواره عددی کمتر از یک است و در بهترین شرایط به حدود ۰/۹۵ می رسد. ضریب تشتک برای یک منطقه از سالی به سال دیگر مقدار ثابتی را نشان می دهد و در محاسبه این ضریب می توان از هر نوع تشتک که در محل برای آمار برداری استفاده می شود بهره گرفت و از این رو محدودیتی از نقطه نظر نوع تشتک وجود ندارد. مناسب ترین و منطقی ترین روش برای تعیین ضریب تشتک، اندازه گیری مقدار تبخیر با روش بیلان آب یا بیلان انرژی در مخازن آبی است.

ب- روش پنمن (Penman, 1948) برای تعیین تبخیر از سطح آب دریاچه ها

پنمن یک مقاله بسیار مهمی در سال ۱۹۴۸ میلادی چاپ نمود که امکان محاسبه شدت تبخیر (E_0) از سطح آزاد آب مشابه یک دریاچه با سطح وسیع که تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی قرار می گیرد، میسر کرد. استحصال فرمول پنمن چندان سخت نبوده ولی جالب و استادانه است، خصوصاً نکته ای که با علامت (*) نمایش داده شده است که در زیر می آید. معادله پنمن براساس شش معادله اساسی به شرح زیر است.

۱. معادله دالتن

$$E_0 = k.u(e_s - e) \quad \left[\frac{kg}{m^2.s} \right] \quad (1)$$

که در آن k ضریب مربوط به زبری سطح (به ازای واحد سطح $0.01 \frac{s^2}{m^2}$ ، u عبارت از سرعت باد $(\frac{m}{s})$ ، e_s فشار بخار اشباع در دمای سطح آب $(h.p_a)$ ، e فشار بخار هوا $(h.p_a)$.

۲. تعریف مقاومت دیفیوژن (r_a) مابین آب و هوا

$$r_a = \rho.c / (k_s . L.k.u) \quad [s/m] \quad (2)$$

که در آن: ρ دانسیته هوا (kg/m^3)، C گرمای ویژه بر حسب $J/kg.k$ ، k_s ضریب ثابت سیکرومتریک در معادله رونالد (Re gnault) بر حسب $h.p_a/K$ ، L عبارت از گرمای نهان تبخیر ($Latent\ heat$) (J/kg) .

۳. تعریف کاهش اشباع (S)

$$S = e_s - e \quad [h.p_a] \quad (3)$$

۴. شیب سایکرومتریک (D)، تاثرات منحنی نسبت فشار بخار اشباع به درجه حرارت است که به صورت زیر بیان می شود:

$$D = (e_s - e_w) / (T - T_s) \quad [h.p_a / K] \quad (4)$$

که در آن e_w فشار بخار آب اشباع در دمای سطح آب، T_s و T دمای هوا ($^{\circ}C$)

۵. شار انتقال حرارت (H) از سطح آب به هوا

$$H = p.c(T_s - T) / r_a \quad [W/m^2] \quad (5)$$

۶. تعادل انرژی در سطح زمین عایق

$$R_n = L.E_0 + H \quad [W/m^2] \quad (6)$$

که در آن R_n جریان خالص ورودی تشعشعات است. معادلات فوق قابل ترکیب با همدیگر هستند.

۷. از ترکیب معادلات ۱ و ۲ داریم:

$$E_0 = \rho.c(e_w - e) / k_s . L.r_a \quad \left[\frac{kg}{m^2.s} \right] \quad (7)$$

* ۸. آنگاه از جانشانی عبارت $(e_w - e)$ با استفاده از معادلات (۳ و ۴) داریم:

$$e_w - e = (e_w - e_s) + (e_s - e) = D(T_s - T) + S \quad [h.p_a] \quad (8)$$

۹. و از ترکیب معادلات ۷ و ۸ خواهیم داشت:

$$E_0 = \rho.c[D(T_s - T) + S] / K_s.L.r_a \quad \left[\frac{kg}{m^2.s} \right] \quad (9)$$

۱۰. پس از مرتب نمودن معادله (۹) داریم:

$$\rho.c[D(T_s - T)] = K_s.L.E_0.r_a - \rho.c.S \quad [J.kg/(m^4.s^2.k)] \quad (10)$$

۱۱. از ترکیب معادلات (۵) و (۱۰) می توان نوشت:

$$H = (K_s.L.E_0 - \rho.c.S/r_a) / (D + K_s) \quad [w/m^2] \quad (11)$$

۱۲. آنگاه از معادلات (۶) و (۱۱) داریم:

$$L.E_0 = (D.R_N + P.C.S/r_a) / (d + k_s) \quad [w/m^2] \quad (12)$$

این رابطه به معادله پنمن موسوم است.

ج- تعیین شدت تبخیر (E) از سطح آب دریاچه ها به روش آیرودینامیک

تعیین میزان تبخیر از سطح دریاچه ها بعضاً بسیار پیچیده است، اما بسیار جالب است. با فرض اینکه میزان اشعه خورشید در سطح زمین و نه در سطح آب اندازه گیری شده باشد، آنگاه این اندازه گیری نمی تواند برای محاسبات تبخیر از سطح آب دریاچه مورد استفاده قرار گیرد. اندازه گیری های باقیمانده به روش آیرودینامیک موسوم است. این روش نیاز به اندازه گیری های درجه حرارت و فشار بخار در دو ارتفاع از روی سطح به اضافه سرعت باد است. ذکر این نکته ضروری است که این یک روش تقریبی است و تا حدود ۲۵٪ خطا نشان می دهد. در این روش همواره نیاز به اندازه گیری های دمای نقطه شبنم، فشار هوا، و سرعت باد تقریباً در یک ارتفاع است. معادله تخمین میزان تبخیر عبارتست از:

$$E = -\rho_a.L.k.u_*(q_2 - q_1) / \ln(z_2 - z_1) \quad (13)$$

که در آن E میزان تبخیر، L گرمای نهان تبخیر، K ثابت جهانی ون کارمن، u_* سرعت برشی، $(q_2 - q_1)$ تغییر رطوبت ویژه مابین هوا و نزدیک سطح آب، ln عبارت از لگاریتم نپرین، z_2 ارتفاع اندازه گیری دمای شبنم، z_1 ارتفاع دماهای اندازه گیری شده برای آب و نقطه شبنم بایستی بر حسب درجه سانتیگراد باشد. سایر مقادیر معمول برای پارامترها عبارتند از:

$$\rho_a \cong 0.0013 \text{ g/cm}^3 \quad \text{و} \quad L \cong 590 \text{ cal/g} \quad \text{و} \quad \kappa = 0.38 \quad (14)$$

سرعت باد بر حسب cm/s و u_* حدود یک دهم سرعت باد، فشار هوا بر حسب میلی بار (mb)، z_2 بر حسب cm و $z_1 = 0.1 \text{ cm}$. فشار بخار بر حسب میلی بار در ارتفاع z_2 و e_1 فشار بخار در دمای آب دریاچه در ارتفاع z_1 (که تقریباً نزدیک نقطه شبنم در سطح دریاچه خواهد بود چون هوا تقریباً اشباع است). برای هر دو e_1, e_2 رابطه زیر را می توان به کار برد:

$$e = C_0 + C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3 + C_4 T^4 + C_5 T^5 + C_6 T^6 \quad (15)$$

که در آن، T بر حسب $^{\circ}C$ و ضرایب عبارتند از:

$$C_0 = 6.11 \quad ; \quad C_1 = 0.4437 \quad ; \quad C_2 = 0.014289$$

$$C_3 = 0.000265065 = 2065062 \times 10^{-4} \quad ; \quad C_4 = 2.0340809 \times 10^{-8}$$

$$C_5 = 6.136821 \times 10^{-4}$$

توجه اینکه هر ضریب به عنوان ضریب به هر دمای T به صورت عدد ضرب می شوند. رطوبت های ویژه (بدون واحد)، q_2 (در ارتفاع z_2) و q_1 (در ارتفاع z_1) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$q = e(1 - 6.378m_a) / [\rho(m_a + m_v)] \quad (16)$$

که در آن m_a : جرم هوا و واحد حجم cm^3 که به عدد $g/0.013$ تقریب زده می شود، m_v : جرم بخار آب در یک واحد حجم cm^3 از هوا. چون بخار آب بیش از ۳٪ حجم کل هوای اشباع نیست و در واقع سبکتر از خود هواست، مقدار m_v به عدد $2.6 \times 10^{-5} g$ تقریب زده می شود. آنگاه $m_a + m_v = 1.326 \times 10^{-3} gr$ است. بنابراین، معادله رطوبت ویژه به صورت زیر ساده می شود:

$$q = 753.8 \text{ e} / \rho \quad (17)$$

با استفاده از اطلاعات فوق، می توان تبخیر از سطح دریاچه را تخمین زد.

به عنوان مثال:

اگر فرض کنیم دمای هوا در نقطه شبنم $20^{\circ}C$ ، دمای دریاچه $25^{\circ}C$ ، سرعت باد

$$z_1 = 0.1 \text{ cm}, \quad z_2 = 300 \text{ cm}, \quad \left(11 \frac{\text{m}}{\text{h}}\right) 500 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

داریم: و فشار هوا 1000 mb باشد، داریم:

$$u_* = 0.1U = 0.1 \times 500 = 50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$e_2 = 23.37 \text{ mb}, \quad e_1 = 31.97 \text{ mb}, \quad q_2 = 0.1477, \quad q_1 = 0.03054$$

$$E = 0.287 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 / \text{s}} = 1201 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (\text{وات بر مترمربع})$$

هوا شناسان از واحد وات بر مترمربع برای شار انرژی استفاده می کنند، از قبیل تبخیر و تبدیل واحد
داریم. این رقم محاسبه شده برای تبخیر دریاچه بسیار عدد منطقی است $1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 / \text{s}} = 41846.43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
و به طور تقریبی معدل دو برابر تبخیر و تعرق از سطح زمین در طی روز آفتابی کامل در وسط روز است.
برای دماهای هوا حتی سردتر از آنچه که ما تصور می کنیم، مثلاً در فصل زمستان (برای دریاچه فاقد
سطح یخبندان)، میزان تبخیر بیشتر خواهد بود. در وسط یک روز تابستانی، زمانی که دمای هوا اغلب
بیشتر از دمای آب است، تبخیر می تواند خیلی اندک باشد.

۶. تعیین نسبت نرخ تبخیر آب دریاچه به تبخیر آب از تشتک اندازه گیری تبخیر

مهمترین کاربرد اطلاعات تبخیر تشتک E_p در تخمین تبخیر دریاچه E_0 (یا سرعت تبخیر در محصولات
کشاورزی E_t) به وسیله عوامل تجربی می باشد. با سنجش همزمان و موازی E_p و E_0 می توان ضریب
تشتک (E_0/E_p) را به دست آورد (مراجع ۶ تا ۸) و دانستن این فاکتور به همراه اندازه گیری محلی تشتک
به ما تخمینی برای تبخیر از دریاچه، E_0 ، بدست می دهد. اندازه گیری نرخ تبخیر آب از یک دریاچه E_0
کار ساده ای نیست (Penman, 1948). بهتر است از فرمول پنمن یا شکل ساده شده آن معادله استفاده
نمود، در صورتی که صرفاً داده های اندکی در اختیار باشد (Linacre, 1993 & 1994). با این وجود،
آلترناتیو دیگر عبارت از اندازه گیری تبخیر آب از یک تشتک (E_p) است. از قبیل تشتک تبخیر نوع A
امریکائی که در شکل (۳) نمایش داده شده است و آنگاه از ضرب نمودن (E_p) در یک ضریب، تبخیر از
سطح دریاچه قابل برآورد است. مقادیر ضریب تشتک برای تشتک کلاس A امریکایی در محدوده ای
حول عدد ۰/۷۷ پراکنده شده اند، که این مقادیر در جدول زیر ذکر شده است.

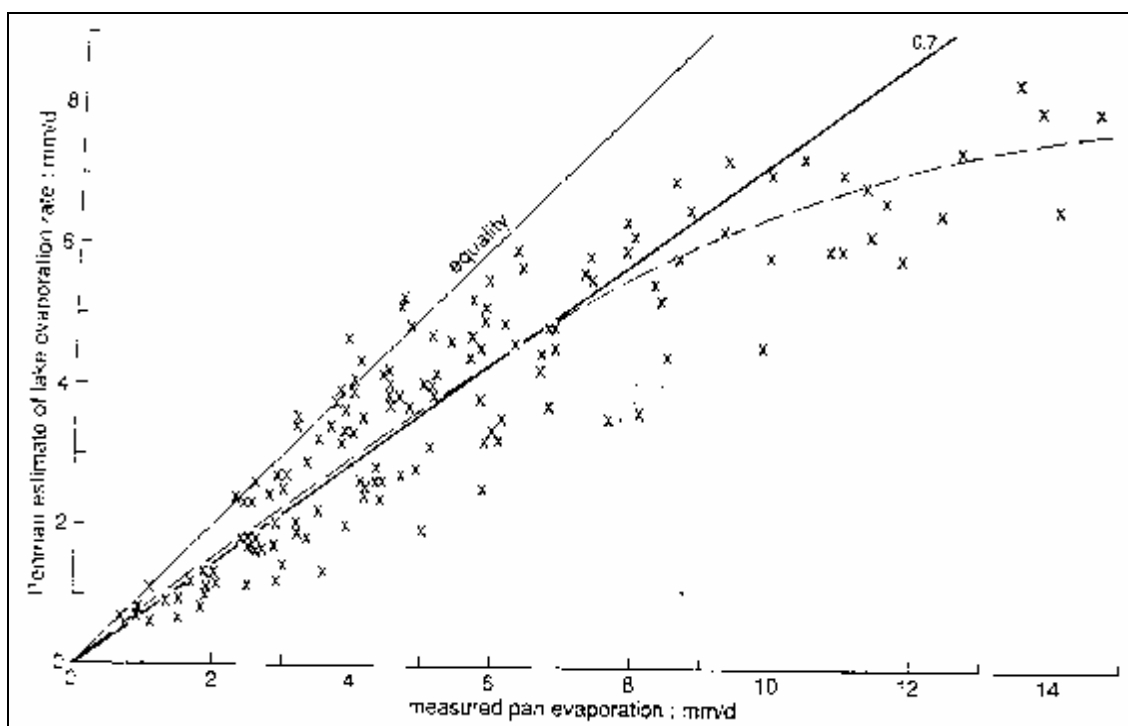
جدول ۱. مقادیر ضریب تشنگ تبخیر سنج، a_p ، ارائه شده توسط سایر محققین

نام محقق و سال تحقیق	a_p (درصد)
Young (1947)	٪۷۷ و ٪۷۷
Penman (1948)	٪۷۸
Kohler et al. (1955)	٪۶۰ تا ٪۸۲
Harbeck (1958)	٪۶۹
Nordensen & Baker (1962)	٪۷۴
Nimmo (1964)	٪۶۱ تا ٪۷۹
Sellers (1965)	٪۸۲
Webb (1966)	٪۷۰
Stanhill (1969)	٪۶۷
Stanhill (1970)	٪۷۰
Allen & Crow (1971)	٪۷۵ تا ٪۷۸
Ficke (1972)	٪۷۶
Hounam (1973)	٪۷۲ و ٪۸۰
Neuwirth (1973)	٪۷۲
Hoy (1977)	٪۷۸
Garret & Hoy (1978/79)	٪۶۳ تا ٪۹۴
Linsley et al. (1982)	٪۷۳ و ٪۷۱
Duru (1984)	٪۷۹
= مناسب ترین ضریب	٪۷۷

این ضریب به طور فصلی به دلیل تغییرات درجه حرارت آب دریاچه متغیر می باشد (Allen & Crow, 1971) و افزایش آن رابطه ای خطی با مقدار رطوبت در بازه ۰/۸ - ۰/۶۲ دارد (Eagleman, 1971). چنین تغییراتی باعث شده است تا ما این روش بدست آوردن E_0 را به روش تخمین مستقیم از معادله مشهور پنمن ترجیح دهیم (Penman, 1948).

در نمودار (۴) اندازه گیری تبخیر تشتک E_p با تخمین های پنمن از تبخیر دریاچه E_{Pen} توسط Stanhill مقایسه شده اند (Stanhill, 1976). در این نمودار مقادیر میانگین ماهانه در یک سال از هر یک از ۱۲ محل در نقاط مختلف دنیا نشان داده شده اند و به خوبی دیده می شود که E_{Pen} به خصوص در سرعت های بالای تبخیر کمتر از E_p می باشد.

نمودار خطی شده E_{Pen} / E_p مقداری در حدود ۰/۷ را نشان می دهد ولی انحنای منحنی که از نقاط می گذرد نشان می دهد که این تست ثابت نیست همچنین پراکندگی نقاط نشان دهنده این امر می باشد که هیچ فرمولی برای تبخیر دریاچه که بر پایه معادله اصلی پنمن باشد نمی تواند به وسیله سنجش های تشتک به خوبی تست شود. یکی از مشکلات فرمول پنمن در محاسبه E_0 این است که ما به مقادیر درجه حرارت، رطوبت، باد و تابش خالص خورشید نیازمندیم و این اطلاعات در همه جا در دسترس نیستند.



نمودار (۴). مقایسه ای از تخمین های روش پنمن از میانگین های ماهانه سرعت تبخیر در دریاچه بوسیله سنجش های تبخیر سنج تشتک با بهره گیری از داده های ارائه شده (Stanhill, 1976).

این موضوع بررسی شده و شکل ساده شده آن معادله به صورت زیر است (Linacre, 1993):

$$E_0 = (0.015 + 0.00042T + 10^{-6} z)(0.8R_s - 40) + 2.5F \cdot u \cdot (T - T_d) \quad (\text{mm/day}) \quad (18)$$

در این رابطه T میانگین درجه حرارت حداکثر بر حسب سلسیوس، Z ارتفاع به متر، F ضریب تغییرات دانسیته هوا به ازای تغییرات ارتفاع می باشد و برابر است با $(F=1-8.7 \times 10^{-5} Z)$ ، u سرعت وزش باد بر حسب m/s در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، Td درجه حرارت نقطه شبنم و Rs شدت بازتابش نور خورشید از سطح دریا بر حسب (W/m^2) وات بر متر مربع می باشد. درجه حرارت نقطه شبنم براساس نمودارهای گرافیکی درجه حرارت حداکثر تعیین می گردد (Linacre & Hobbs, 1977). برای تخمین مقدار Rs ، دو روش قبلاً ارائه شده است (Linacre, 1992). تعیین مقدار دقیق آن، مستلزم اطلاعات ماهانه بارندگی می باشد و نمایانگر تراکم ابرهایی است که مانع بازتابش اضافی از سطح کره زمین است و در جدولی بیان شده است (Linacre & Hobbs, 1977). غالباً تخمین سرعت باد به صورت تقریبی از روی سنجش های صورت گرفته از ایستگاه های اطراف و مکان های دیگر کافی است، زیرا اساساً پدیده تبخیر در مقابل تغییرات سرعت باد حداقل است مقدار شدت تابش مقدار ماکزیمم خود را اختیار می کند. در نتیجه فقط سنجش درجه حرارت ماکزیمم روزانه مهم است و پارامترهای مقدار بارش و سرعت باد از اهمیت کمتری برخوردار هستند. برای مثال خطای تخمین (E_0) در معادله (۱۸) در شهر کپنهاگ در حدود ۰/۳ میلی متر در روز گزارش شده است (Linacre, 1993).

متأسفانه دسته اطلاعات قابل اعتماد کمی برای تحقیق درستی رابطه (۱۸) وجود دارد ولی در عوض برای تحقیق رابطه آزمایش تبخیر از تشتک (E_p) ایستگاه های مختلفی از تمامی نقاط دنیا وجود دارد. در نتیجه تعریف رابطه تبخیر از سطح دریا در حالت آزمایش تشتک باعث کیفیت بخشیدن به تحقیق جامع برای رابطه (۱۸) می گردد و در واقع هدف اصلی این مقاله تحقیقی همین موضوع است.

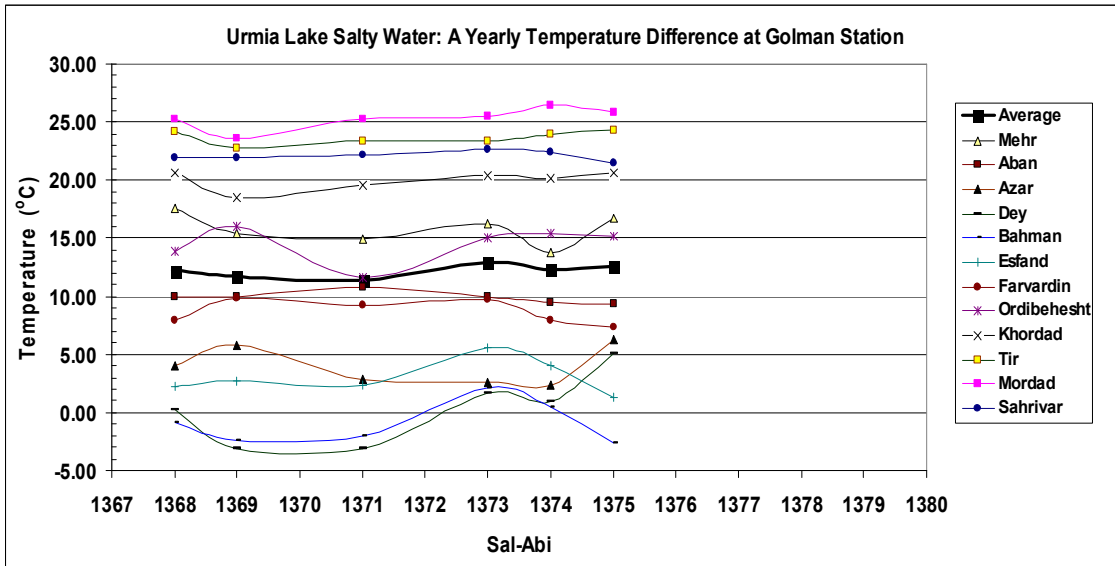
همچنانکه بیان شد، E_p عبارت از نرخ افتادگی یا کاهش تراز آب در تشتک منهای هر نوع نزولات جوی است. عکس ضریب تشتک $(a_p' = 1/a_p = E_p / E_0)$ ، که غالباً معادل ۱/۳ می باشد، نشان می دهد که میزان تبخیر از تشتک حدود ۳۰٪ بیش از تبخیر از سطح آب دریاچه است و آن به دلیل جذب حرارت مازاد از کناره های تشتک می باشد. در عین حال، از مقایسه تخمین های پمن برای E_0 با مقدار اندازه گیری شده E_p نشان می دهد که ضریب تشتک عدد ثابتی نمی باشد و بستگی به نرخ تبخیر آب دارد. مقادیر ضریب فوق محدود به عدد ۱/۳ است در صورتی که میزان E_p همواره کمتر از ۵ میلی متر بر روز باشد، اما این عدد به حدود ۱/۷ می رسد، چنانچه میزان E_p به حدود ۱۲ میلی متر بر روز برسد. به عبارتی، گرمای جذب شده از دیواره های تشتک به صورت غیر نسبی افزایش می یابد اگر شرایط تبخیر فوق العاده حاکم باشد. البته تبخیر آب دریاچه های آب نمک با افزایش میزان غلظت نمک کاهش می یابد و یا علت آن است که فشار بخار اشباع سطح آب نمک کمتر از فشار بخار سطح آب معمولی است. نسبت رطوبت نسبی محیط به سطح آب با املاح نرمال اقیانوسها حدود ۹۸٪ می باشد، اما آن عدد با

افزایش غلظت نمک به حدود ۷۴٪ کاهش پیدا می کند و آن زمانی است که محلول نمک اشباع می شود (با فرض اینکه نمک از نوع کلرید سدیم یا نمک طعام باشد، که در دریاچه ارومیه چنین است).

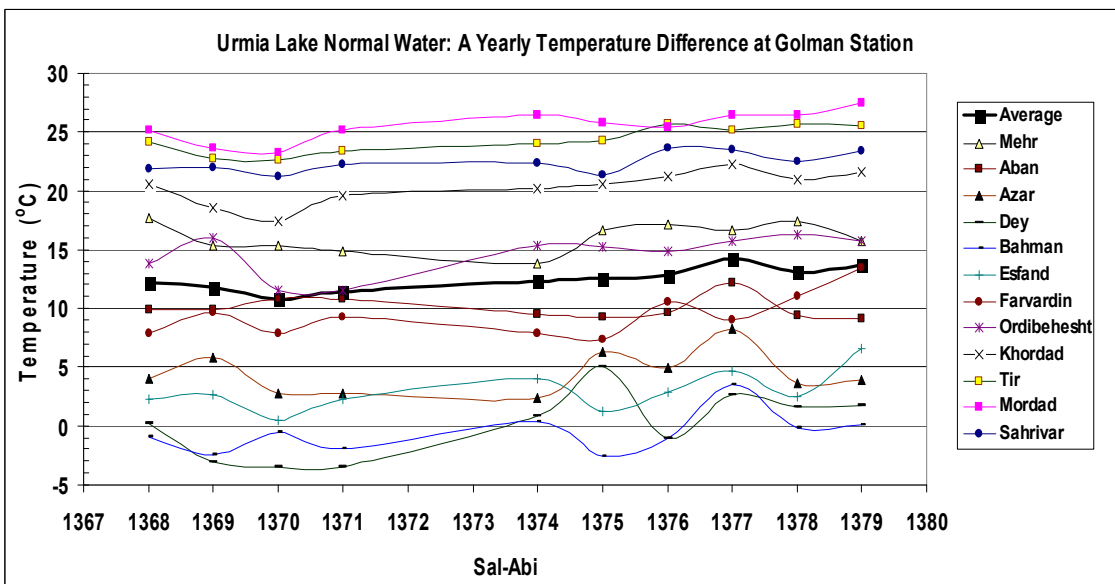
ادامه تبخیر از سطح آب، نمک را ترک می نماید و آنگاه غلظت نمک باقیمانده افزایش می یابد و در نهایت یک محلول اشباع باقی می ماند و آنگاه عمل بلوری شدن نمک اتفاق می افتد. در نتیجه هیچ نوع تبخیری رخ نمی دهد اگر رطوبت نسبی هوا به بیش از ۷۴٪ برسد با فرض اینکه دمای محیط هوا و آب دریاچه مشابه هم باشند (طوری که شباهت به حاشیه دریاچه دارد که کم عمق می باشد). چون هوای محیط در شب ها معمولاً در محیط خارج دریاچه آرام با یک رطوبت نسبی حدود ۷۴٪ است، لذا تبخیر آب دریاچه تقریباً دارای فرآیندی مشابه زمان روز می باشد. به طور خلاصه نقش شوری آب روی تبخیر این است که به ازای هر یک درصد (۱٪) افزایش غلظت نمک در آب، میزان تبخیر آب به همان اندازه یعنی ۱٪ کاهش پیدا می کند. با در نظر گرفتن شرایط مساحت سطح دریاچه، شدت تبخیر آب دریاچه حدود ۲ تا ۳ درصد از شدت تبخیر آب شیرین کمتر خواهد بود.

۷. ارائه داده های تهیه شده

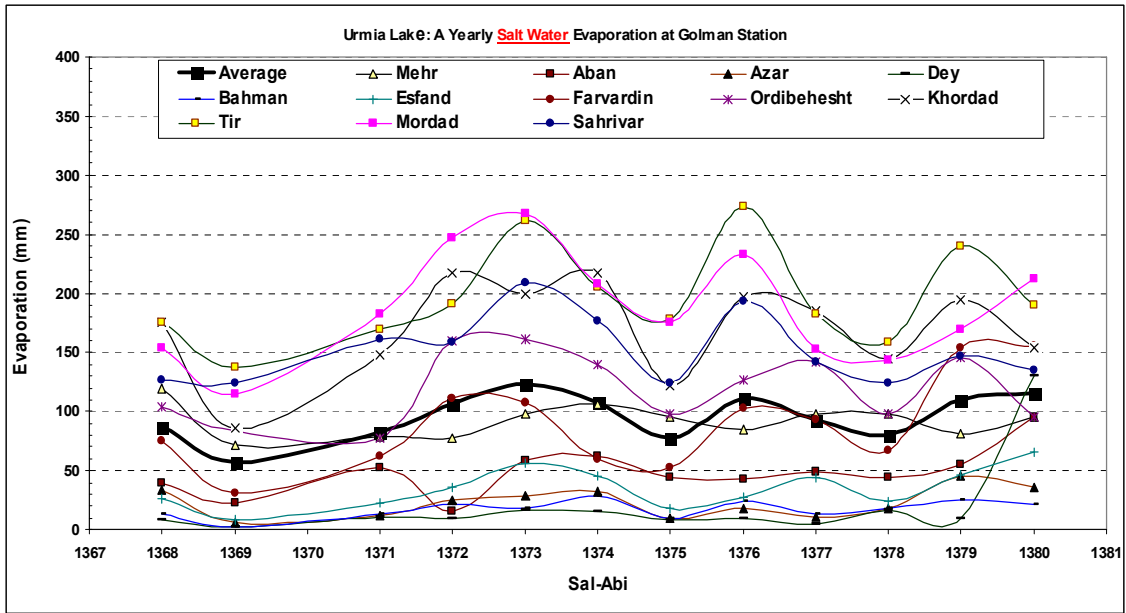
این داده ها شامل درجه حرارت، و تبخیر از تشتک آب شیرین و آب شور می باشد، که توسط دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان غربی در ایستگاه گلخانه تهیه شده و در اختیار نگارنده قرار داده شده است. داده ها در مورد درجه حرارت متوسط ماهیانه برای سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در هر دو آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه تهیه شده است. داده های مربوط به تبخیر متوسط ماهیانه برای سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۱ در هر دو تشتک های آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه تهیه گردیده است. تنها این دو تیپ داده ها در تحقیق حاضر در دسترس نگارنده بوده است. این داده ها مرتب شده و در نمودارهای (۵ و ۶) برای درجه حرارت متوسط سالیانه و در نمودارهای (۷ و ۸) برای تبخیر متوسط سالیانه ارائه شده اند. نمودارهای (۵ تا ۸) نشان می دهند که تغییرات میزان متوسط درجه حرارت و تبخیر به تقریب (به جز در موارد نادر) از همدیگر تبعیت می نمایند. تداخل برخی از منحنی ها در همدیگر نشانگر آن است که تنها عامل دما در میزان تبخیر دخیل نبوده است بلکه سایر شرایط اقلیمی نیز بایستی مد نظر قرار بگیرند. این داده ها در بخش بعدی آنالیز شده و مورد بحث قرار می گیرد.



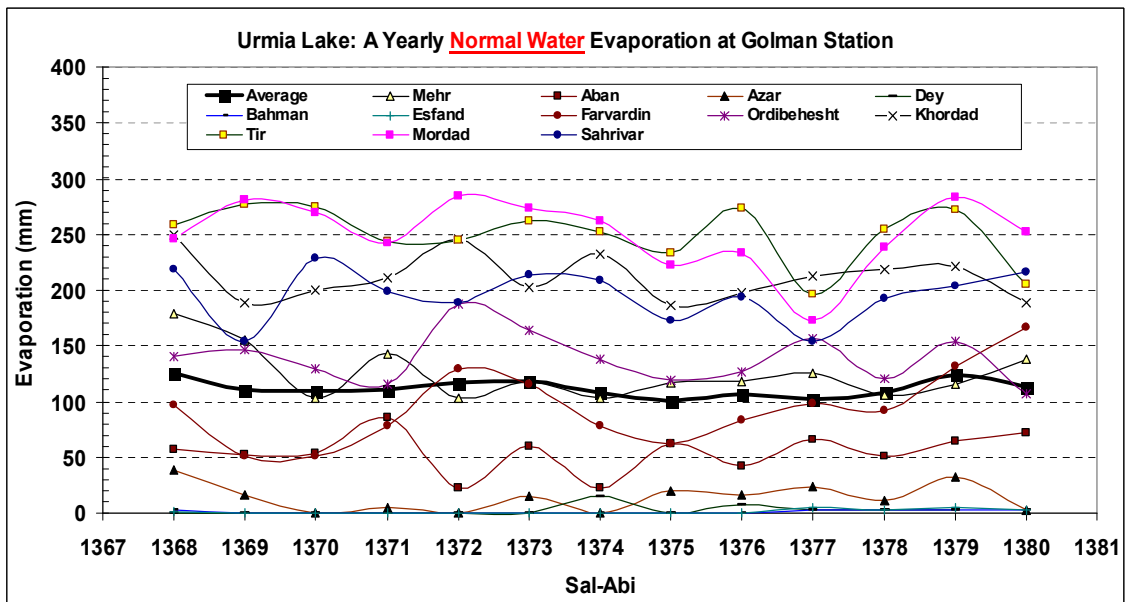
نمودار (۵). تغییرات درجه حرارت متوسط سالیانه برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۵ برای آب شور دریاچه (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)



نمودار (۶). تغییرات درجه حرارت متوسط سالیانه برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۸ برای آب شیرین معمولی (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)



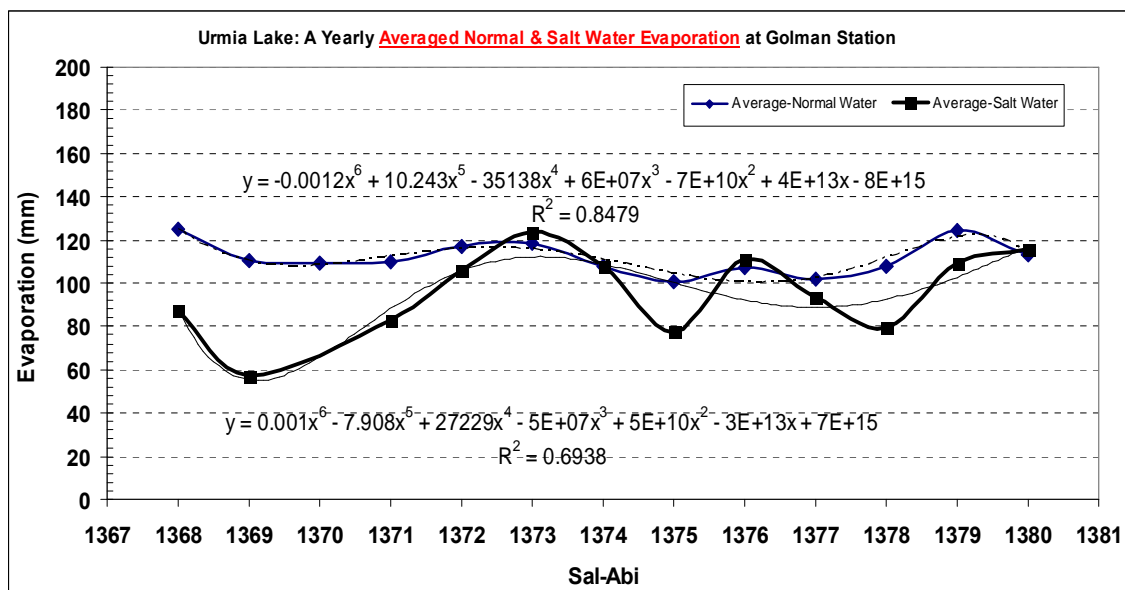
نمودار (۷). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شور دریاچه
(ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)



نمودار (۸). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر برای ماههای مختلف در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی
(ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

۸ تجزیه و تحلیل داده ها و بحث روی نتایج حاصل

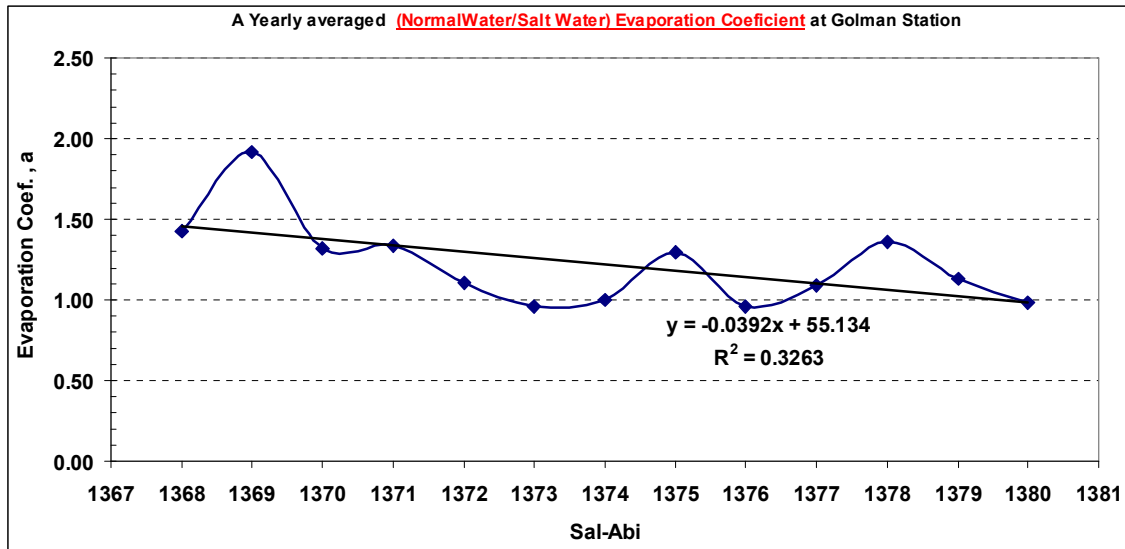
داده های قید شده در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفته و به روش های متعدد تجزیه و تحلیل شده اند. نمودار (۹) چگونگی تغییرات میزان متوسط تبخیر سالیانه را در سالهای آبی مختلف برای هر دو آب معمولی و آب شور دریاچه را نشان می دهد. همچنان که ملاحظه می شود هر دو منحنی از یک روند و آهنگ مشابهی تبعیت نمی نمایند. این موضوع بیانگر آن است که تغییرات شرایط اقلیمی بر روی میزان تبخیر در هر دو نوع آب به یک صورت اثر نمی کند. بنا براین بایستی در اندازه گیریهای مربوط به برآورد دقیق تبخیر، سایر پارامترهای اقلیمی مثل باد، تابش خورشید و غیره نیز برداشت شوند. البته گفتنی است که روند تغییرات میزان متوسط تبخیر سالیانه در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۲ و همچنین در سالهای آبی ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ به نسبت مشابه است ولی برای سالهای دیگر بسیار متفاوت نشان می دهد.



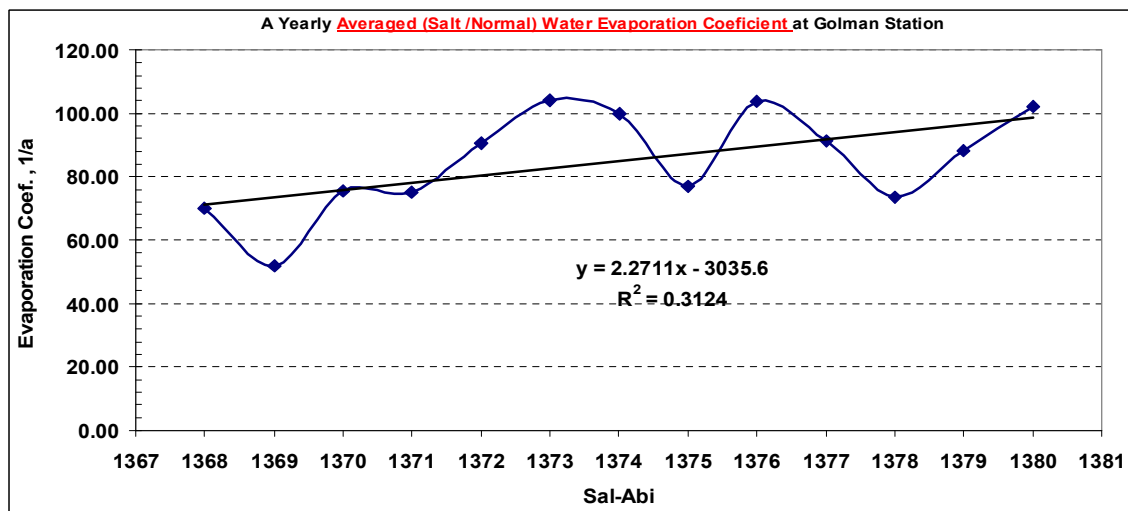
نمودار (۹). تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه به همراه معادلات برازش یافته آنها (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

در نمودار (۱۰) منحنی تغییرات ضریب نسبت تبخیر، a ، و نمودار (۱۱) عکس تغییرات آن عدد ترسیم یافته است. ضریب نسبت تبخیر، a ، عبارت از نسبت تبخیر از آب شیرین معمولی به آب شور دریاچه است. معادله خطی برازش یافته در نمودار (۱۰) نشان دهنده تغییرات نسبی کاهشی آن است. این شکل نشان می دهد که نسبت تغییرات میانگین تبخیر سالیانه در آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی از

معادله غیر خطی پیروی می کند. این نتیجه نشان می دهد که در سالهای مختلف میزان متوسط تبخیر تابع یک قاعده و فرمول خاص نیست. با این حال، مقدار میانگین این عدد ($a = 1/2$) می باشد.

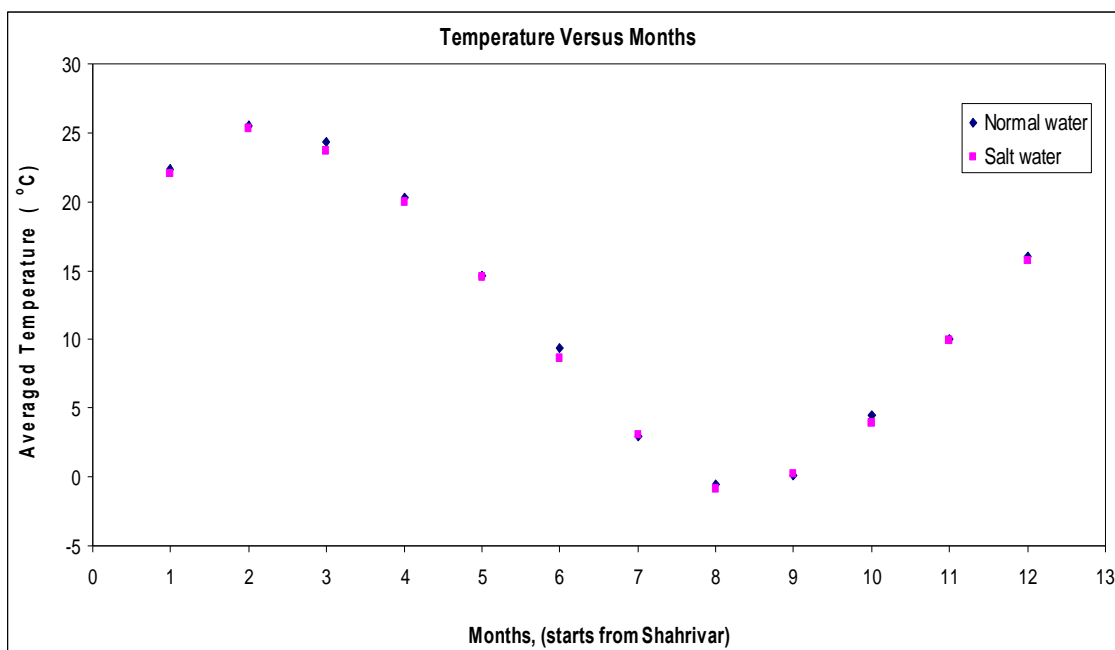


نمودار (۱۰). ضریب تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر، a ، در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای نسبت آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)



نمودار (۱۱). ضریب تغییرات میزان متوسط سالیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای نسبت آب شیرین معمولی به آب شور دریاچه، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

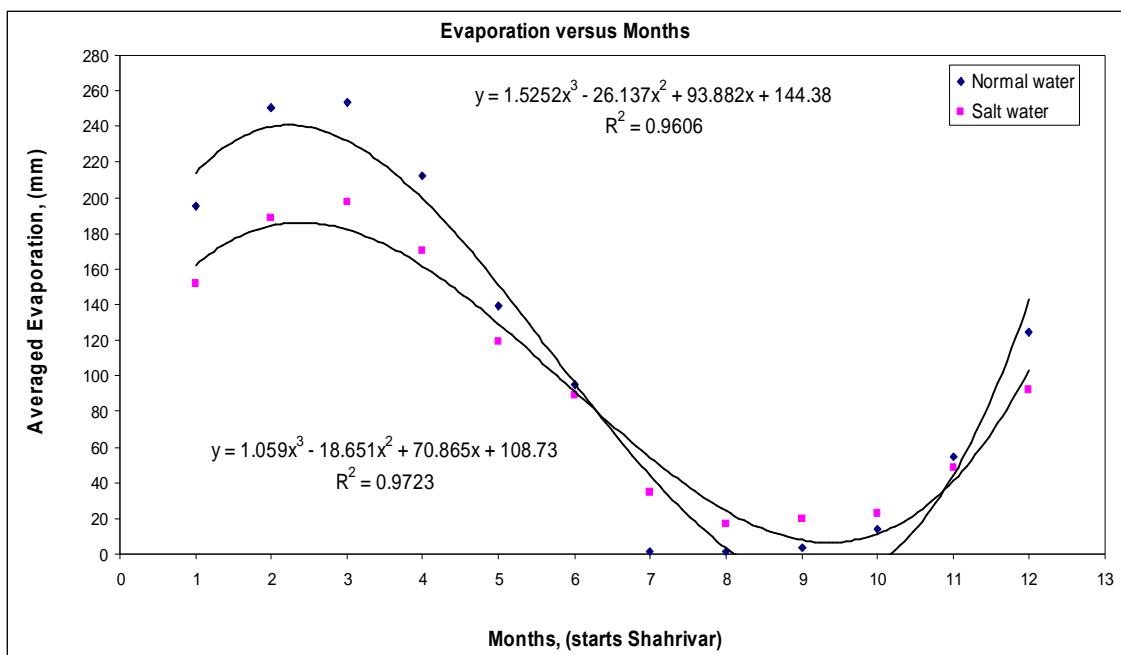
در نمودار (۱۲)، تغییرات متوسط ماهیانه درجه حرارت در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه نمایش داده شده است. ملاحظه می شود این تغییرات به صورت شبه سینوسی است و در برخی ماهها این اعداد عین هم نیستند که حاکی از تغییرات در جذب دما برای دو نوع آب می باشد. لذا می توان نتیجه گرفت که میزان تبخیر در این دو نوع آب نیز بایستی متفاوت باشند.



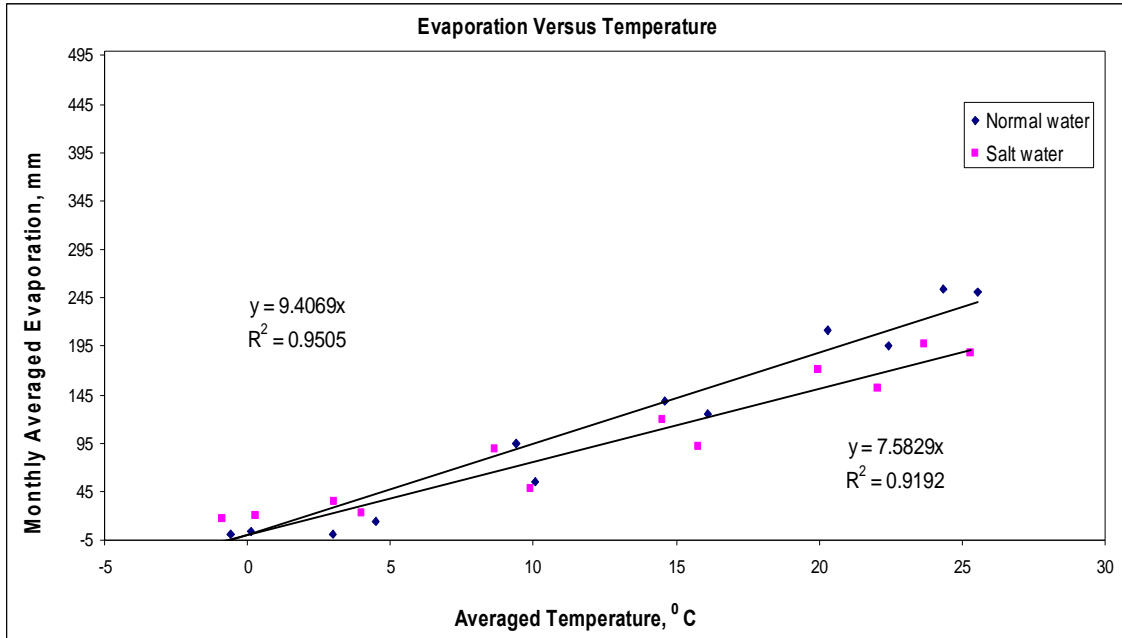
نمودار (۱۲). تغییرات متوسط ماهیانه درجه حرارت در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۳)، منحنی های تغییرات متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه را نشان می دهد. ملاحظه می شود این تغییرات نیز به صورت شبه سینوسی است و در برخی ماهها این اعداد مشابه هم نیستند و تبخیر از آب شور بیش از مقدار آن برای آب معمولی است. این نمودار بیان می کند که تغییرات در جذب دما و اثر سایر عوامل اقلیمی برای دو نوع آب قید شده متفاوت می باشد. لذا می توان به این نتیجه رسید که به منظور مدل نمودن میزان تبخیر در این دو نوع آب بایستی داده های کامل تری برداشت شود تا دقت پیش بینی آن در حد قابل قبول باشد.

تغییرات میزان متوسط ماهانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در ارتباط با متوسط ماهانه درجه حرارت در آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، به همراه معادلات برازش یافته در نمودار (۱۴) ارائه گردیده است. از این نمودار ملاحظه می شود که آهنگ میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی بیش از مقدار آن برای آب شور دریاچه است و از طرفی روند تغییرات میزان تبخیر تا حدودی تابع درجه حرارت است. این نتیجه مؤید آن است که املاح و نمک موجود در آب شور دریاچه سبب کاهش مقدار تبخیر می شود اگرچه در برخی از ماههای سال (مطابق نمودار ۱۳) چنین نیست. این نتیجه نیز بیان می کند که اثر سایر عوامل اقلیمی برای دو نوع آب مورد بررسی بطور دقیق باید برداشت شده و آنالیز شوند.



نمودار (۱۳). تغییرات میزان متوسط ماهانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، به همراه معادلات برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

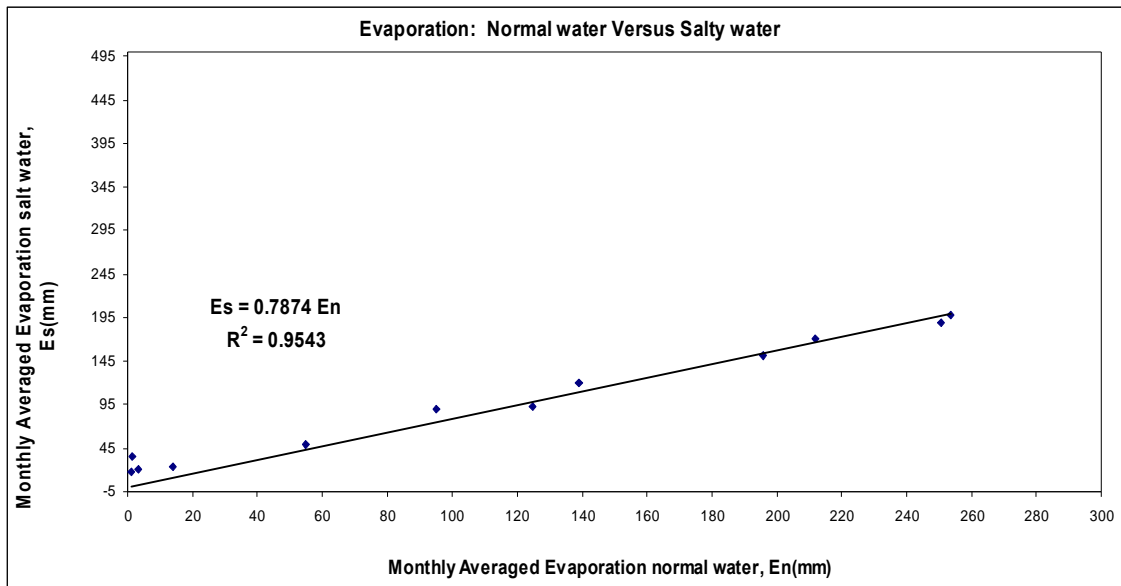


نمودار (۱۴). تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در ارتباط با متوسط ماهیانه درجه حرارت در آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، به همراه معادلات برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

نمودار (۱۵)، تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای متوسط ماهیانه در آب شیرین معمولی نسبت به آب شور دریاچه، به همراه معادله برازش یافته آن را نشان می دهد. معادله به صورت یک تابع خطی بوده و به فرم زیر است:

$$Es = 0.7874 En \quad , \quad R^2 = 95.43\% \quad (19)$$

که در آن، En و Es به ترتیب متوسط ماهیانه تبخیر در آب شور دریاچه و تبخیر آب شیرین معمولی است و R^2 درصد همبستگی داده هاست که همبستگی خوبی می باشد. این رابطه برای داده های موجود به صورت خطی برقرار است و برای معادلاتی مثل نمایی و لگاریتمی، داده ها از همبستگی چندان خوبی برخوردار نیستند، اگرچه ممکن است با زیاد شدن تعداد آمار تغییری در آن رابطه ملاحظه شود.



نمودار (۱۵). تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در آب شیرین معمولی نسبت به آب شور دریاچه، به همراه معادله برازش یافته (ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی)

بر اساس آنچه که در بحث تعیین نسبت تبخیر از تشتک تبخیر سنج و تبخیر واقعی آب دریاچه مطرح شد، مقدار متوسط ضریب تشتک به حدود ۰.۷۷. تعیین گردید. از مقایسه آن با رابطه (۱۹) نتیجه می گیریم، آب دریاچه ارومیه به میزان حدود ۱/۷۴ درصد کمتر از آب تبخیر یافته از تشتک تبخیرسنج آب شیرین معمولی، تبخیر می یابد.

۹. نتیجه گیری

از بررسی ادبیات موضوع و آنالیز داده های در دسترس، نتایج زیر ارائه می شود:

۱. ادبیات موضوع تبخیر از سطح آب دریاچه ها مورد بررسی قرار گرفته و روش های برخورد با موضوع جهت بهره برداری کارشناسان و محققان بیان شده است.
۲. داده های مربوط به درجه حرارت و تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ در هردو اندازه گیری برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه ارومیه، در ایستگاه اندازه گیری گلمانخانه، وابسته به شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی، مورد بررسی قرار گرفت و از جهات گوناگون آنالیز و تحلیل شده اند.

۳. نمودارهای تغییرات درجه حرارت، تبخیر و همچنین تغییرات مقادیر متوسط سالیانه و ماهیانه آنها تهیه شده اند.

۴. از بررسی نتایج چنین بر می آید که بهتر است داده ها برای مقادیر متوسط ماهانه در سالهای مختلف آنالیز شده و نتیجه گیری شوند. روند بررسی داده ها برای مقادیر متوسط سالیانه فقط برآوردهای کلی را نشان می دهند.

۵. نتایج تحلیل داده ها نشان می دهد که نسبت تغییرات میانگین تبخیر سالیانه در آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی از یک معادله و فرمول خاصی پیروی نمی کند. لذا با این بررسی نتیجه مناسبی را نمی توان بدست آورد. البته این موضوع حاکی از پیچیدگی برآورد دقیق میزان تبخیر در دریاچه است و لذا بایستی اندازه گیریهای دیگری نیز به داده های موجود اضافه شوند.

۶. از مقایسه منحنی های تغییرات میانگین اندازه گیری دما و تبخیر برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، ملاحظه می شود هر دو منحنی از یک روند یکسان برخوردار نمی باشند (نمودارهای ۱۱ و ۱۲). این موضوع بیانگر آن است که تغییرات شرایط اقلیمی بر روی میزان تبخیر در هر دو نوع آب به یک صورت اثر نمی کند. بنابراین، بایستی در اندازه گیریهای مربوط به برآورد دقیق تبخیر، سایر پارامترهای اقلیمی مثل باد، تابش خورشید، مقدار مواد محلول، غلظت و غیره نیز برداشت شوند.

۷. بررسی نتایج نشان می دهد که میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی بیش از مقدار آن برای آب شور دریاچه است و از طرفی روند تغییرات میزان تبخیر تا حدودی تابع درجه حرارت می باشد. این نتیجه مؤید آن است که املاح و نمک موجود در آب دریاچه سبب کاهش مقدار تبخیر در آن می شود.

۸. غلظت مایع رابطه معکوس با میزان تبخیر دارد. این موضوع در مورد آبهای شور سبب کاهش میزان تبخیر نسبت به آبهای شیرین معمولی می شود. چنین بیان می شود که به ازای هر ۱٪ نمک موجود در آب، ۱٪ از شدت تبخیر کاسته می شود (که این تحقیق نیز آن را تأیید می کند). ولی در آبهای دارای پلانکتونها (مانند آرتمیای دریاچه ارومیه)، جذب انرژی بیشتری صورت گرفته و میزان تبخیر افزایش پیدا می کند. لذا موضوع بررسی میزان تبخیر از سطح دریاچه ارومیه کار چندان ساده ای نیست و تا به حال روش مطمئنی برای این منظور ارائه نشده است.

۹. بررسی تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سالهای آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای متوسط ماهیانه (در سالهای مختلف) نشان می دهد که روند میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه از یک معادله خطی پیروی می نماید. با استفاده از این معادله می توان تنها با اندازه گیری تبخیر در آب شیرین، به میزان تبخیر در آب شور دریاچه دست یافت. در این صورت نه تنها از خطای اندازه

گیری احتراز می شود بلکه زمان اندازه گیری نیز کاهش یافته و حتی به عنوان یک رابطه کنترل کننده نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته این معادله با دسترسی به تعداد زیادی از داده های آماری تهیه شده از سایر ایستگاههای اندازه گیری در اطراف دریاچه ارومیه قابل بهبود است.

۱۰. نتایج حاصل نشان می دهد، آب دریاچه ارومیه به میزانی حدود ۱/۷۴ درصد کمتر از آب تبخیر یافته از تشتک تبخیرسنج آب شیرین معمولی، تبخیر می یابد.

۱۰. پیشنهادات

از بررسی ادبیات موضوع، تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین و همچنین آنالیزهای انجام شده، به منظور رسیدن به شرایط مطلوب در امر پیش بینی میزان تبخیر و ارزیابی دقیق آن پیشنهادات زیر بیان می شود:

- پیشنهاد می شود تعداد ایستگاه های تبخیرسنج در حاشیه دریاچه افزایش داده شود.
- شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی، داده های جمع آوری شده توسط سایر سازمانها و دستگاههای اجرایی در حاشیه دریاچه را به صورت دسته بندی شده تهیه نماید تا بتوان کلیه شرایط و همچنین از اثر سایر مناطق اطراف دریاچه نیز که در تبخیر مؤثرند، برای پیش بینی میزان دقیق تبخیر بهره برداری نمود.
- برای رسیدن به یک مدل مناسب که بیانگر پیش بینی میزان تبخیر دقیق باشد، لازم است اندازه گیری: سرعت باد، تابش آفتاب، فشار جو، رطوبت نسبی محیط، وجود تلاطم در جریان دریاچه، مقدار مواد محلول در آب دریاچه (مثل نمک طعام)، وجود آرتمیا، غلظت آب دریاچه و ویسکوزیته آن، نیز انجام بگیرد. تا بتوان از روش های موجود مانند روش پنمن، روش آیرودینامیک و یا سایر روشها که در این پژوهش به آنها اشاره شده است، و یا روش بیلان آبی، جهت برآورد دقیق میزان تبخیر از سطح آب دریاچه ارومیه استفاده شود. البته اثر عوامل فوق روی اندازه گیریها از تشتک تبخیر نیز نبایستی نادیده گرفته شود.
- پیشنهاد می شود در ادامه این طرح تحقیقاتی، با ارائه و تصویب یک طرح پژوهشی دیگری با همکاری نگارنده، یک مدل کامپیوتری مناسبی برای پیش بینی میزان دقیق تبخیر در حوضه آبریز دریاچه و در سطح آب دریاچه (به طور جداگانه) تهیه شود، تا بتوان از نتایج آن برای مدیریت بهنگام دریاچه ارومیه و منابع آبی موجود در حوضه آبریز آن استفاده نمود.

۱۱. تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجانغربی به تصویب رسیده و طی قرارداد شماره ۲۳۶۵۸/۱۲۳ آن سازمان پشتیبانی مالی شده است. داده های مورد نیاز، توسط دفتر مطالعات پایه منابع آب آن شرکت در اختیار نگارنده قرار گرفته است. ضمن تقدیر و تشکر از آن شرکت، همahنگی و همکاری دفتر معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه و دانشکده فنی موجب امتنان است.

۱۲. منابع و مراجع

- [1] Allen, J.B. and Crow, F.R. 1971. "Predicting lake evaporation by performance of evaporation ponds, pans and tanks." Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 14,:458 - 463.
- [2] Bloemen, G.W. 1978. "A high-accuracy recording pan-evaporimeter and some of its possibilities." Journal of Hydrology 39: 159-173.
- [3] Brutsaert W. H. and Stricker H., "An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration", Water Resour. Res., Vol.15, No.2, (1979), pp 443-450.
- [4] Cahoon, J.E., Costello, T.A. and Ferguson, J.A. 1991. "Estimating pan evaporation using limited meteorological observations." Agricultural and Forest Meteorology 55: 181-190.
- [5] Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation. and Drainage Paper 24. (Food & Agriculture Organisation, United Nations, Rome) 144pp.
- [6] Duru, J.O. 1984. "Blaney-Morin Nigeria evapotranspiration model." Journal of Hydrology 70: 71-83.
- [7] Eagleman, J.R. 1967. "Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration." Journal of Applied Meteorology 6: 482-488.
- [8] Ficke, J.F. 1972. Comparison of evaporation computation methods, Pretty Lake. Professional Paper 686-A (U.S. Geological Survey) 48pp.
- [9] Garrett, D.R. and Hoy, R.D. 1978. A study of monthly lake to pan coefficients using a numerical lake model. Publication 78/9 (Institute of Engineers, Australia) 145-149.
- [10] Hanson, C.L. and Rauzi, F. 1977. "Class-A pan evaporation as affected by shelter, and a daily prediction equation". Agricultural Meteorology. 18: 27-35.
- [11] Harbeck, G.E. 1958. Lake Hefner water-loss investigations. Publication 45 (International Association of Scientific Hydrology) 437-43.
- [12] Hounam, C.E. 1973. Comparison between pan and lake evaporation. Technical Note 126 (World Meteorological Organisation, Geneva) 52pp.

- [13] Hoy, R.D. "Pan and lake evaporation in Northern Australia." Proceedings of a Hydrology Symposium, Brisbane, 1977 (Institute of Engineers, Australia) 57-61.
- [14] Kelts, K. and Sharabi, M., 1988, Holocene Sedimentology of Hypersaline Lake Urmia (N.W. Iran), Paleontology, Paleoclimatology, Paleogeology, 54 pp 105-130.
- [15] Kohler, M. A., T. J. Nordenson, and W. E. Fox, 1955. Evaporation from Pans and Lakes, U. S. Dept. Commerce, Weather Bureau Research Paper 38.
- [16] Linacre, E. T., 1977. A Simple Formula for Estimating Evaporation Rates in Various Climates, Using Temperature Data Alone, Agricultural Meteorology, Vol. 18, pp. 409-424.
- [17] Linacre, E.T. 1992. Climate Data & Resources. (Routledge, London) 366pp.
- [18] Linacre, E.T. 1993. "Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation." Agricultural and Forest Meteorology.
- [19] Linacre, E.T. 1994. Estimating U.S. Class-A pan evaporation from few climate data. Water International, 19, 5-14.
- [20] Linacre, E.T. 1994. Estimating U.S. Class-A pan evaporation from few climate data. Water International, 19, 5-14.
- [21] Linacre, E.T. and Hobbs, J.E. 1977. The Australian Climatic Environment. (Jacaranda Wiley, Brisbane) 354pp.
- [22] Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H. 1982. Hydrology for Engineers. (3rd edn, McGraw-Hill) 508 pp.
- [23] Neuwirth, F., 1973. "Experiences with evaporation pans at a shallow steppe-lake in Austria." Hydrology of Lakes, Helsinki, (International Association of Hydrological Science) 290-297.
- [24] Nimmo, W.R. 1964. "Measurement of evaporation by pans and tanks." Australian Meteorological Magazine 46: 17-53.
- [25] Nordenson, T.J. and Baker, D.R. 1962. "Comparative evaluation of evaporation instruments." Journal of Geophysical Research 67: 671-679.
- [26] Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass, Proc. Roy. Soc. London, Vol. 193, pp. 120-146.
- [27] Sellers, W.D. 1965. Physical Climatology. (Chicago University Press) 272pp.
- [28] Stanhill, G. 1969. "Evaporation from Lake Tiberias: An estimate by the combined water balance-mass transfer approach." Israel Journal of Earth Science 18: 101-108.
- [29] Webb, E.K. 1966. "A pan-lake evaporation relationship." Journal of Hydrology, Amsterdam 4: 1-11.

[۳۰] اسلامی، ل.، ۱۳۸۰، ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست دریاچه ارومیه با استفاده از مدل تخریب، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

- [۳۱] افشار، ع.، ۱۳۶۴، هیدرولوژی مهندسی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، عمران ۱۰، تهران.
- [۳۲] جلیلی، ح.، ۱۳۷۴، دریاچه ارومیه: مختصری از تازیخچه هیدرولوژی، هیدروگرافی، مجله آب و توسعه، شماره ۴: ص ۲-۶.
- [۳۳] غضبان، ف.، و مهاجر باوقار، ن.، ۱۳۷۶، ژئوشیمی و منشا شوری آب دریاچه ارومیه، اولین همایش زمین شناسی دریایی ایران، چابهار، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- [۳۴] صدقی، ح.، ۱۳۵۷، اصول مهندسی هیدرولوژی، جلد اول: هیدرومتئولوژی، (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- [۳۵] مخدوم، م.، ۱۳۸۱، مروری بر مطالعات انجام یافته در دریاچه ارومیه و آبخیز آن، همایش میانگذر دریاچه ارومیه و محیط زیست، سالن فرهنگی هنری ارومیه، آبان، ص ۷-۱۹.
- [۳۶] محمدی، م. ع.، ۱۳۸۱، ویژگیهای هیدرودینامیکی دریاچه ارومیه، همایش میانگذر دریاچه ارومیه و محیط زیست، سالن فرهنگی هنری ارومیه، آبان، ص ۴۱-۴۸.
- [۳۷] موحد دانش، ع. ا.، ۱۳۶۶، مقدمه ای بر هیدرولوژی، جلد اول: مبانی هیدرولوژی و هیدرولوژی آماری، (ترجمه و تدوین)، انتشارات عمیدی، تبریز.
- [۳۸] مهندسین مشاور جامع ایران، ۱۳۷۲، گزارش های مطالعات جامع احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوضه های آبریز ارس و ارومیه.
- [۳۹] نجمایی، م.، ۱۳۶۸، هیدرولوژی مهندسی، جلد اول، انتشارات سارا، تهران.
- [۴۰] اینترنت به آدرس: (http://encarta.msn.com/map_701514011/Urmia_Lake.html)
- [۴۱] اینترنت به آدرس:
(<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/coastal/mnm/ma04022a.htm>)

Abstract:

Urmia Lake is the largest internal lake of Iran that has about half a million-hectar (variable at different years) and has a large independent catchment at the region of north-west of Iran. In view of the lack of good measurements of lake evaporation (such as Urmia Lake) for testing a new estimation formula, a modification of the formula has been devised which can be compared with US Class-A pan measurements, which are available widely. The literature review of the lakes water surface evaporation has been considered and the methods and criteria used to the subject in relation with the applications for the researchers in the field of Urmia Lake have also been explored.

Some measurement data for temperature and evaporation at the years of 1368-1380 (1989-2001), both for normal water and the salty water of Urmia Lake has been considered and analyzed for the Golman-Khaneh measurement station, which belongs to the West Azerbaijan province for Water Authority Co.

The analysis of available data shows that the format of data consideration for the yearly averaged figures focus only on the general evaluation of the results. So, the available data should be analyzed and concluded for the monthly averaged figures at different years. The results of data analysis shows that the ratio of the yearly averaged figures for evaporation of normal water to the salty water has not follow a specific equation. This result proves the complication of the estimation of evaporation at the Lake of Urmia. It therefore needs to be considered the other measurements for the effective parameters (e.g. wind speed, environment moisture, sunshine, solvable materials, NaCl concentration, etc).

The concentration of liquid has a reverse effect on the evaporation rate. However, waters with phytoplankton (such as *Artemia*), the energy absorption increases, and then more evaporation occur. This again leads that the estimation of evaporation at Lake Surface is not a very easy work. The results show that the averaged evaporation for normal water is greater than that of salty water, and even the variation of evaporation rate is as a function of the water temperature. This result expresses the point that the contained solution materials as well as salt well reduce the rate of evaporation.

The consideration of the averaged monthly evaporation reveals that the procedure of the averaged monthly evaporation for the normal water (E_n) and as for the salty water (E_s) in the pan gives an equation: $E_s = 0.7874 E_n$, $R^2 = 95.43\%$ with a higher R^2 , which is a linear equation. Using that equation, it needs to measure only the pan evaporation for the normal water, so the evaporation figure can be estimated for the salty water in the pan. This equation subtracts the user great errors due the frequently measurements as well as saving the time of measurements. This equation may even be used to control the measurements taken by the operator. Of course, the consideration of other data collection stations around Urmia Lake may improve the above equation. The results finally show that the evaporation for the Lake Urmia is about 1.74% less than that of the evaporation at the normal water pan evaporation.

At the end of the report, a list of recommendations is presented, as follows:

It is necessary that the water authority of West Azerbaijan province collects the other data measured by the other synoptic and non synoptic stations, and after processing data, they may use for the precise forecasting of evaporation rate as well as the other important and key parameters.

In order to reach a suitable model that gives a precise estimation for the evaporation rate, it needs to measure (e.g. wind speed, sunshine, atmospheric pressure, environment moisture rate, water surface turbulence, solvable materials quantity as NaCl concentration, the existence of Artemia, water viscosity). It therefore leads to use such available methods as Penman method, aerodynamic method or the other methods mentioned in this report or the water balance method used for the precise estimation of Urmia Lake water surface evaporation.

In order to continue the present research work, it is recommended that in collaboration with the author, a new research project (for the forecasting of precise evaporation both catchment and lake, independently) should be planned and ratified by the research committee of the West Azerbaijan province for water authority. Therefore, applying the results of this new research project, it may use for the on time management of the Urmia Lake and the existing water resources at the related catchments.

Islamic republic of Iran
Ministry of Energy
Iran water resources management Company

West Azerbaijan Province Water Authority Company

Final Report on:

A RELATIONSHIP BETWEEN NORMAL AND SALTY WATERS EVAPORATION AND ITS EFFECT ON URMIA LAKE EVAPORATION

Executive Organization:

West Azerbaijan Province for Water Authority

Researcher:

Dr Mirali Mohammadi

Dept of Civil Eng., Faculty of Eng., Urmia University

Winter 1383