



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - کنترل

# اندازه گیری تبخیر بصورت حلقه بسته ذاتا دیجیتال

به کوشش

شهریار علی پور

استاد راهنما

دکتر پانوش کریم آقایی

شهریور ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

اظہارنامہ

اینجانب شہریار علی پور (۸۹۰۴۹۸) دانشجوی رشته ی مهندسی برق گرایش کنترل دانشکده ی مهندسی برق و کامپیوتر بیان می دارم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظہار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: شہریار علی پور

تاریخ و امضا:



به نام خدا

اندازه گیری تبخیر بصورت حلقه بسته ذاتا دیجیتال

به کوشش:

شهریار علی پور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه

کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی برق – کنترل

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر پاکنوش کریم آقائی دانشیار بخش برق و الکترونیک (استاد راهنما).....

دکتر علیرضا خیاطیان دانشیار بخش برق و الکترونیک (استاد مشاور).....

دکتر محمد جواد عابدینی استاد بخش راه و ساختمان (استاد مشاور).....

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به

# پدر و مادر عزیزم

## سپاسگزاری

اکنون که به یاری یگانه دادار هستی این رساله به سرانجام آمد، بر خود واجب و لازم می‌دانم از زحمات و تلاش‌های بی‌کران استاد ارجمند جناب آقای دکتر کریم آقایی که در این راه راهنمای رهگشای من بودند، کمال تشکر را بدارم.

همچنین از زحمات اساتید ارجمند جناب آقایان دکتر عابدینی و دکتر خیاطیان که زحمت مشاوره این پایان‌نامه بر عهده‌ی ایشان بوده است، کمال تشکر و سپاس را دارم. همچنین از آقای مهندس سینا سلطانی بابت همکاری در مباحث فصل هفتم در این پایان‌نامه تشکر می‌نمایم.

## چکیده

### اندازه گیری تبخیر بصورت حلقه بسته و ذاتا دیجیتال

به کوشش

شهریار علی پور

در این تحقیق یک روش حلقه بسته جهت اندازه گیری تبخیر ارائه می شود. این اندازه گیری بصورت ذاتا دیجیتال انجام می شود. در این روش از سیگنال تبخیر با فرکانسی چندین برابر آهنگ تغییرات تبخیر توسط یک نمونه بردار یک بیتی نمونه برداری می شود. دقت اندازه گیری تبخیر ۲۲ میکرو متر در هر ۲ ثانیه است. این پایانه در نه فصل تدوین گردیده که در زیر به کلیات آن ها اشاره می گردد.

در فصل اول پایان نامه مقدمه ای بر بحث تبخیر از دیدگاه هیدرولوژی و روش های اندازه گیری آن مطرح شده است. فصل دوم اختصاص به مبانی سنسور های حلقه بسته ذاتا دیجیتال و تاریخچه آن ها دارد. در فصل سوم به توصیف تبخیر سنج ساخته شده و آزمایش های انجام شده بر آن پرداخته می شود. فصل چهارم حاوی مباحث مربوط به مدل سازی ریاضی و ارائه یک مدل فضای حالت برای تبخیر سنج ساخته شده است. در ادامه در فصل پنجم یک کنترل کننده بر اساس منطق فازی جهت استفاده در سیستم اندازه گیری ارائه گردیده است و عملکرد آن مورد شبیه سازی و آزمایش قرار گرفته است. در فصل ششم یک روش اندازه گیری سطح آب بر اساس سنسوری با خاصیت خازنی پرداخته می شود. فصل هفتم توصیف کننده یک تخمین گر بر پایه مدولاسیون سیکما دلتا می باشد و نهایتا فصل هشتم اختصاص به نتیجه گیری و پیشنهادات دارد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه ای بر تبخیر و روش اندازه گیری آن</b>
۲-۱	تبخیر.....۲
۲-۱	واحد ها و اندازه ها.....۴
۳-۱	کاربرد های تبخیر در هواشناسی.....۴
۴-۱	عوامل تاثیر گذار بر آهنگ تبخیر روش های اندازه گیری تبخیر.....۴
۵-۱	اتمومتر.....۴
۶-۱	عوامل خطا در اتمومتر ها.....۱۰
۷-۱	تشتک ها و حوض های تبخیر.....۱۱
۸-۱	تشتک ایالات متحده سایز A.....۱۱
۹-۱	نحوه اندازه گیری در تشتک های تبخیر.....۱۲
۱۰-۱	منابع خطا در تشتک های تبخیر.....۱۳
۱۱-۱	کارهای انجام شده بر تشتک های تبخیر.....۱۳

## فصل دوم: سنسور های حلقه بسته

۱۹-۱-۲	مقدمه.....۱۹
۱۹-۱-۲	سنسور های آنالوگ حلقه باز.....۱۹
۱۹-۲-۱-۲	سنسور های آنالوگ حلقه بسته.....۱۹
۲۰-۳-۱-۲	سنسور های حلقه بسته دیجیتال.....۲۰
۲۱-۲-۲	مدولاسیون سیکما دلتا.....۲۱
۲۱-۱-۲-۲	Oversampling.....۲۱
۲۱-۲-۲	مدولاسیون دلتا.....۲۱
۲۲-۳-۲-۲	ساختار مدولاسیون سیکما دلتا.....۲۲
۲۴-۴-۲-۲	انواع مبدل های سیکما دلتا.....۲۴



۲۶.....	۵-۲-۲- مدل خطی مدولاسیون سیکما دلتا.....
۲۷.....	۶-۲-۲- مدولاتور سیکما دلتای مرتبه اول و Noise Shaping.....
۲۸.....	۳-۲- کار های انجام شده روی سنسور های حلقه بسته.....

### فصل سوم: توصیف تبخیر سنج ساخته شده

۳۴.....	۱-۳- لیست تجهیزات.....
۳۴.....	۱-۱-۳- تشتک تبخیر.....
۳۵.....	۲-۱-۳- شناور.....
۳۷.....	۳-۱-۳- لودسل.....
۳۷.....	۴-۱-۳- مدار الکترونیکی.....
۳۸.....	۱-۴-۱-۳- عملکرد مدار.....
۴۰.....	۲-۴-۱-۳- الگوریتم استفاده شده در میکروپرسور.....
۴۰.....	۲-۴-۱-۳- نویز در سیستم اندازه گیری.....
۴۱.....	۵-۱-۳- پمپ برداشت آب.....
۴۱.....	۶-۱-۳- پایه نگهدارنده لودسل.....
۴۲.....	۷-۱-۳- ستون سرریز.....
۴۲.....	۸-۱-۳- شیر کنترلی.....
۴۳.....	۲-۳- شرایط آزمایش.....
۴۶.....	۱-۲-۳- نتایج آزمایشگاهی جهت کالیبراسیون سیستم.....
۴۶.....	۱-۱-۲-۳- روش انجام آزمایش.....
۴۷.....	۲-۱-۲-۳- الگوریتم استفاده شده جهت سنجش دقت تبخیر سنج.....
۵۰.....	۳-۱-۲-۳- تحلیل داده ها.....

### فصل چهارم: مدل سازی تبخیر سنج ساخته شده

۵۳.....	۱-۴- توصیف کلی از سیستم.....
---------	------------------------------

## عنوان

## صفحه

۲-۴	- توصیف دقیق هر بخش از سیستم و مدل سازی ریاضی آن.....	۵۳
۱-۲-۴	- بخش مقایسه کننده Set point با سیگنال Sensor.....	۵۴
۲-۲-۴	- بخش Sample & Zero Order Hold.....	۵۵
۳-۲-۴	- بخش کنترل کننده و محرک.....	۵۵
۴-۲-۴	- بخش Plant و خروجی.....	۵۶
۵-۲-۴	- بخش Sensor.....	۵۷
۳-۴	- مدل فضای حالت.....	۵۸

### فصل پنجم: طراحی کنترل کننده فازی و بررسی نتایج شبیه سازی و نتایج آزمایشگاهی

۱-۵	- ساختار کنترل کننده دیجیتال.....	۵۱
۲-۵	- کنترل کننده منطق فازی.....	۶۲
۳-۵	- نتایج آزمایشگاهی.....	۶۳
۴-۵	- تحلیل خطای نتایج آزمایشگاهی.....	۶۶
۵-۵	- شبیه سازی مدل بدست آمده.....	۶۷

### فصل ششم: طراحی سنسور خازنی

۱-۶	- توصیف سنسور خازنی.....	۷۱
۲-۶	- بررسی حساسیت سنسور خازنی.....	۷۲
۳-۶	- روش اندازه گیری تغییرات ظرفیت خازنی.....	۷۳
۴-۶	- مقایسه روش خازنی و روش استفاده از لودسل.....	۷۶

### فصل هفتم: تخمین بر اساس مدولاسیون سیکما دلتا

۱-۷	- ساختار تخمین گر.....	۷۸
۲-۷	- طراحی بخش استنتاجی فازی.....	۷۸
۳-۷	- نتایج و شبیه سازی.....	۸۰

## فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۸-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۴

۸-۲- پیشنهادات..... ۸۴

فهرست مراجع و منابع..... ۸۵

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴۵.....	جدول ۳-۱- مقدار وزن آب خارج شده از شیر در زمان‌های مختلف.....
۴۸.....	جدول ۳-۲- نتایج آزمایش ۱.....
۴۹.....	جدول ۳-۳- نتایج آزمایش ۲.....
۵۰.....	جدول ۳-۴- نتایج آزمایش ۳.....
۵۵.....	جدول ۴-۱- نام گذاری سیگنال‌ها.....
۶۳.....	جدول ۵-۱- قوانین مربوط به $D(K)$ .....
۶۹.....	جدول ۵-۲- مقایسه نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی.....
۷۳.....	جدول ۶-۱- مقادیر پارامترهای خازن.....
۷۶.....	جدول ۶-۲- مقایسه بین روش خازنی و روش استفاده از لودسل.....
۸۰.....	جدول ۷-۱- قوانین مربوط به $D(K)$ .....
۸۲.....	جدول ۷-۲- پارمترهای خطا.....

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمودار شماتیک جابجائی مولکولهای آب بین هوا و سطح مایع.....	۳
شکل ۱-۲- تشتک تبخیر و عوامل تاثیر گذار بر عملکرد آن.....	۱۲
شکل ۱-۳- شکل و ابعاد تشتک تشتک ایالات متحده سائز A.....	۱۳
شکل ۱-۴- سنسور الکترونیکی شناور.....	۱۴
شکل ۱-۵- نحوه قرار گرفتن استرین گیج ها بر بازوها.....	۱۵
شکل ۱-۶- شمای سیستم ارائه شده توسط C.L.Hanson.....	۱۶
شکل ۲-۱- عملکرد سنسور.....	۱۸
شکل ۲-۲- دو بخش مجزای سنسور.....	۱۸
شکل ۲-۳- اجزای مبدل نور.....	۱۹
شکل ۲-۴- ساختار سنسور حلقه بسته آنالوگ.....	۲۰
شکل ۲-۵- مدولاسیون دلتا.....	۲۲
شکل ۲-۶- نحوه شکل گیری مدلاتور سیکما دلتا.....	۲۳
شکل ۲-۷- ساختار مدولاسیون سیکما دلتا.....	۲۳
شکل ۲-۸- مبدل آنالوگ به دیجیتال سیکما دلتا.....	۲۴
شکل ۲-۹- قسمت های اصلی DD SDM.....	۲۵
شکل ۲-۱۰- نمودار بلوکی یک DA DSM.....	۲۵
شکل ۲-۱۱- مدل کلی و مدل خطی مدولاسیون سیکما دلتا.....	۲۶
شکل ۲-۱۲- سیکما دلتای مرتبه اول.....	۲۷
شکل ۲-۱۳- سیکما دلتای مرتبه اول در حوزه Z.....	۲۷
شکل ۲-۱۴- طیف چگالی توان نویز در مدولاسیون سیکما دلتای مرتبه اول.....	۲۸
شکل ۳-۱- اجزای تبخیر سنج.....	۳۴
شکل ۳-۲- شناور استفاده شده.....	۳۵
شکل ۳-۳- عملکرد شناور و لودسل در سنجش ارتفاع آب تشتک.....	۳۶
شکل ۳-۴- موقعیت لود سل.....	۳۷

شکل ۳-۵- ارتباط مدار الکترونیکی را با سایر اجزای تبخیر سنج.....۳۸

صفحه

عنوان

- شکل ۳-۶- تصویر مدار استفاده شده.....۳۹
- شکل ۳-۷- شماتیک مدار استفاده شده.....۳۹
- شکل ۳-۸- شماتیک مدار آشکار ساز و خروجی آن.....۴۰
- شکل ۳-۹- پایه نگهدارنده لودسل.....۴۲
- شکل ۳-۱۰- نمایی از شیر کنترل در سازه تبخیر سنج.....۴۳
- شکل ۳-۱۱- شماتیک آزمایش.....۴۴
- شکل ۳-۱۲- منحنی کالیبراسیون شیر.....۴۵
- شکل ۳-۱۳- نحوه آزمایش.....۴۶
- شکل ۳-۱۴- نمودار آزمایش ۱.....۴۸
- شکل ۳-۱۵- نمودار آزمایش ۲.....۴۹
- شکل ۳-۱۶- نمودار آزمایش ۳.....۵۰
- شکل ۴-۱- ساختار کلی سیستم.....۵۳
- شکل ۴-۲- بخش مقایسه کننده.....۵۴
- شکل ۴-۴- مدل کنترل کننده و محرک.....۵۶
- شکل ۴-۵- مدل بخش Plant.....۵۷
- شکل ۴-۶- مدل سنسور.....۵۸
- شکل ۴-۷- مدل سیستم.....۵۸
- شکل ۵-۱- ساختار کنترل کننده.....۶۲
- شکل ۵-۲- تابع عضویت  $(K)a^{-1}$  در الگوریتم فازی.....۶۲
- شکل ۵-۳- تابع عضویت  $D(K)$  و  $E(K)$  در الگوریتم فازی.....۶۳
- شکل ۵-۴- روند برداشت آب از تشت.....۶۴
- شکل ۵-۵- خروجی اندازه گیری.....۶۴
- شکل ۵-۶- تبخیر تجمعی اندازه گیری شده.....۶۵
- شکل ۵-۷- مقایسه نتیجه اندازه گیری و خروجی ترازو.....۶۷
- شکل ۵-۸- روند تغییرات خطا.....۶۷
- شکل ۵-۹- سیستم شبیه سازی شده.....۶۷

شکل ۵-۱۰- خروجی دیجیتال کنترل کننده در شبیه سازی.....۶۸

صفحه

عنوان

شکل ۵-۱۱- مقایسه خروجی سیستم شبیه سازی شده با سیستم واقعی.....۶۸

شکل ۶-۱- نحوه قرار گرفتن سنسور خازنی در تشت تبخیر.....۷۱

شکل ۶-۲- اجزای سنسور خازنی.....۷۱

شکل ۶-۳- ابعاد سنسور خازنی.....۷۲

شکل ۶-۴- مدار اندازه گیری تغییرات ظرفیت خازنی.....۷۳

شکل ۶-۵- مدار معادل خازن SENS و کلیدها.....۷۴

شکل ۶-۶- مدار معادل در حالت شارژ خازن INT.....۷۵

شکل ۱-۷- ساختار تخمینگر.....۷۸

شکل ۷-۲- ساختار فیلتر دیجیتال.....۷۸

شکل ۷-۳- تابع عضویت  $K(a)$  و  $(a-K)$  در الگوریتم فازی.....۷۹

شکل ۷-۴-  $E(K)$  در الگوریتم فازی.....۷۹

شکل ۷-۵-  $D(K)$  در الگوریتم فازی.....۷۹

شکل ۷-۶.....۸۰

شکل ۷-۷- خروجی تخمین گر.....۸۱

شکل ۷-۸.....۸۱

# فصل اول



## مقدمه ای بر تبخیر و روش اندازه گیری آن

### ۱-۱- تبخیر

منظور از تبخیر مقدار آبی است که از سطوح آب آزاد و یا زمین بخار می شود. منظور از تعرق فرایندی است که به سبب آن آب از نباتات بصورت بخار به جو منتقل می شود. تبخیر تعرق بیانگر مقدار بخار آبی است که خاک و نباتات هنگامی که زمین حاوی رطوبت معمول خود است بخار می شود.

### فیزیک فرایند تبخیر [34]

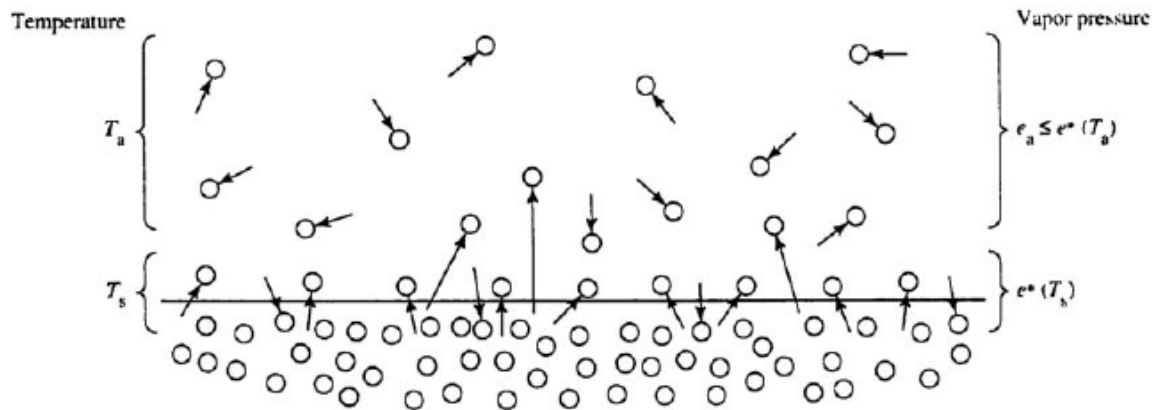
در شکل ۱-۲، هوای مرطوب با درجه حرارت  $T_a$  در تماس با سطح افقی آب با درجه حرارت  $T_s$  قرار گرفته است. تعدادی از مولکولهای واقع در سطح مایع توسط باند هیدروژنی به طرف مولکولهای داخل مایع جذب گردیده و تعدادی دیگر قادر به شکست باند هیدروژنی و فرار از سطح آب خواهند بود. با افزایش یافتن درجه حرارت  $T_s$ ، به تدریج مولکولهای بیشتری وارد هوا خواهند گردید. مولکول های آب موجود در هوای مجاور سطح آب از حرکتی کاملاً تصادفی برخوردار بوده و با تجمع آنها در هوا، تعدادی مجدداً به مایع برگشت داده می شوند. نرخ بازگشت مولکول ها به مایع با غلظت مولکول ها در لایه هوا متناسب است. در شرایط تعادل، تعداد مولکول های وارده به مایع با تعداد مولکول های خارج شده از سطح مایع برابر بوده و فشار بخار مولکول های موجود در هوای مجاور سطح آب معادل فشار بخار اشباع در درجه حرارت  $T_s$  بوده و از رابطه (۱-۱) قابل محاسبه است.

$$e_s^* = 0.611 \exp\left(\frac{17.3T_s}{T_s + 237.3}\right) \quad (1-1)$$

در رابطه مزبور  $T_s$  برحسب درجه سانتیگراد و  $e_s^*$  برحسب  $kPa$  می باشد. نرخ تبخیر در شرایط تعادل معادل نرخ خروج یا ورود مولکولها از سطح اشباع مایع به هوای مجاور یا برعکس خواهد بود و با اختلاف فشار بخار هوای مجاور و فشار بخار اشباع در درجه حرارت  $T_s$  متناسب می باشد.

$$E \propto e_s^* - e_a \quad (2-1)$$

در رابطه (۲-۱)، نرخ تبخیر و فشار بخار آب در هوا در یک ارتفاع مشخص است. ضریب تناسب در رابطه (۲-۱) به عوامل مختلفی از جمله ارتفاع مزبور و فاکتورهای کنترل کننده دیگر نظیر چگونگی جابجائی مولکولهای بخار آب در سطح مایع بستگی دارد. رابطه (۲-۱) در تعدادی از مراجع به قانون دالتون مشهور می باشد.



شکل ۱-۱- نمودار شماتیک جابجائی مولکولهای آب بین هوا و سطح مایع

علیرغم سادگی رابطه دالتون، بیان دو نکته در خصوص این رابطه از اهمیت خاصی برخوردار است:  
**الف:** بسته به مقادیر عددی درجه حرارت سطح آب ( $T_s$ ) و درجه حرارت هوای مجاور  $T_a$  و رطوبت نسبی آن، عبارت  $e_s^* - e_a$  می تواند دارای مقادیر مثبت، صفر و یا منفی گردد. در شرایطی که  $e_s^* > e_a$  باشد، فرایند تبخیر و اگر  $e_s^* < e_a$  باشد، فرایند انجماد سطح آب بوقوع می پیوندد. چنانچه  $e_s^* = e_a$  برقرار باشد هیچیک از فرایندهای تبخیر و انجماد قابل وقوع نخواهد بود.

**ب:** فشار بخار هوای مجاور ( $e_a$ ) می تواند کوچکتر یا مساوی فشار بخار اشباع هوای مجاور ( $e_a^*$ ) در درجه حرارت  $T_a$  گردد که این متناظر با پذیرش مقادیری کمتر یا مساوی ۱۰۰٪ برای رطوبت نسبی می باشند. فرایند تبخیر حتی در شرایطی که رطوبت نسبی معادل ۱۰۰٪ گردد، به شرطی که  $e_s^* > e_a^*$  باشد کماکان تداوم خواهد داشت. در چنین شرایطی آب تبخیر شده در هوای مجاور منجمد گشته و منجر به ایجاد مه در هوای مجاور می گردد.

## ۲-۱- واحدها و اندازه‌ها

آهنگ تبخیر بیانگر میزان آبی است که از یک واحد مساحت از سطح آب در مدت یک واحد زمان بخار می‌شود. آهنگ تبخیر را می‌توان بصورت حجم یا جرم آب بخار شده از یک سطح در واحد زمان در نظر گرفت که معمولا بصورت عمق معادل آب بخار شده از کل سطح در واحد زمان بیان می‌شود. واحد زمان معمولا مدت یک روز است. مقدار تبخیر باید بصورت میلیمتر بیان شود.

## ۳-۱- کاربردهای تبخیر در هواشناسی

تخمین تبخیر از سطوح آزاد آب و زمین و همچنین تبخیرتغرق از مناطق پوشیده از گیاهان اهمیت بسیاری در مدل سازی هیدرولوژیک و مطالعات هیدرولوژی و کشاورزی دارد برای مثال میتوان طراحی و بکارگیری مخازن آب، سیستم های آبیاری و زهکشی همچنین در مورد محاسبه مصرف آب های زیر زمینی نام برد.

## ۴-۱- عوامل تاثیر گذار بر آهنگ تبخیر

عوامل تاثیر گذار بر آهنگ تبخیر از یک جسم یا سطح را بطور عمده، به دو قسمت عوامل هواشناسی و عوامل سطح تقسیم کرد. عوامل هواشناسی را میتوان به دو زیر شاخه انرژی و متغیرهای ایرودینامیکی تقسیم بندی کرد. برای تبدیل آب از حالت مایع به بخار آب نیاز به انرژی است. در طبیعت این انرژی بصورت گسترده توسط تابش خورشیدی و تابش مربوط به زمین تامین می‌گردد. متغیرهای ایرودینامیکی همانند سرعت وزش باد بر سطح آب، آهنگ انتقال بخار آب تبخیر شده را کنترل می‌کنند. تفاوت فائل شدن بین زمانی که آب آزاد بر سطح وجود دارد و زمانی که اینگونه نیست سودمند خواهد بود. عوامل مهم شامل مقدار و حالت آب و همچنین آن دسته از ویژگیهای سطح که بر انتقال فرآیند به هوا تاثیر می‌گذارند خواهد بود. مقاومت در برابر انتقال رطوبت به جو برای مثال به ناهمواری سطح - در مناطق خشک یا نیمه خشک -، اندازه و شکل سطحی که از آن تبخیر صورت می‌گیرد بسیار وابسته می‌باشد. روش های تخمین زدن تبخیر و تبخیرتغرق عموما بصورت غیر مستقیم هستند که یا بوسیله اندازه گیری های نقطه ای توسط ادوات اندازه گیری و یا بوسیله متغیر های هواشناسی دیگر انجام می‌شوند.

## ۵-۱- روش های اندازه گیری تبخیر

اندازه‌گیری تبخیر یا تبخیرتغرق از سطوح طبیعی آب یا خاک بصورت مستقیم در زمان حال امکان پذیر نمی باشد. با این حال چند روش غیر مستقیم از اندازه گیری های نقطه ای و محاسبات دیگر توسعه داده شده اند که نتایج قابل ملاحظه ای را ارائه می دهند.

### روشهای مختلف تخمین غیرمستقیم تبخیر [32]

ظرف نیم قرن گذشته، روشهای متعدد و متنوعی بمنظور برآورد تبخیر از سطح احجام آبی به جامعه علمی معرفی گردیده است. وجه تمایز این روشها را می توان در چگونگی لحاظ نمودن عوامل کنترل کننده فرایند تبخیر در تبیین معادلات مربوطه لحاظ نمود. بطور کلی عوامل مؤثر در ایجاد فرایند تبخیر عبارتند از دو عامل انرژی حرارتی و گرادیان فشار بخار آب می باشد. در بخش (۲-۲) به این نکته اشاره شد که با افزایش درجه حرارت سطح آب ( $T_s$ )، نرخ تبخیر افزایش می یابد. انرژی حرارتی مورد نیاز بمنظور افزایش  $T_s$  عمدتاً " توسط انرژی خورشیدی تأمین می گردد. وجود انرژی حرارتی بمنظور افزایش  $T_s$  شرط لازم برای وقوع فرایند تبخیر بوده لیکن کافی نمی باشد. بمنظور فرار مولکولهای آب از سطح مایع نیاز به گرادیان فشار بخار آب نیز می باشد. بطوریکه مولکولهای بخار آب از نواحی پرفشار به نواحی کم فشار منتقل گردند. بمنظور تداوم یافتن فرایند تبخیر گرادیان مزبور باید احیا گردد. به عبارت دیگر مکانیسم دیگری برای احیا گرادیان فشار لازم است که همان وزش باد می باشد. به این ترتیب می توان به عوامل ذیل بعنوان فاکتورهای مؤثر در ایجاد و تداوم فرایند تبخیر اشاره نمود.

الف: درجه حرارت آب ( $T_s$ ) و هوا ( $T_a$ )

ب: سرعت باد

ج: فشار جو

د: تشعشعات خورشیدی

ه: کیفیت آب

و: شکل رویه تبخیر شونده