تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۲، اسفند ماه ۱۳۹۹ (ص ۳۲۵۲-۳۲۳۷) DOI: 10.22059/ijswr.2020.306713.668678
(یادداشت تحقیقاتی)

Evaluation of Iran Meteorological Measurement and Monitoring Network

HAMID KARDAN MOGHADDAM*[1], HOSSEIN DEHBAN[1], ALIREZA KAVOUSI[1], REZA ROOZBAHANI[1], MASOUD BAHRAINI MOTLAG[1], MOHAMMAD JAVAD ZAREIAN[1]

1. Department of Water Resources Research, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.
(Received: July. 21, 2020- Accepted: Nov. 14, 2020)

ABSTRACT

Proper utilization of available water resources and implementation of development plans requires an accurate database and updating of statistical and meteorological information. The process of measuring meteorological data until it is recorded in a database is an accurate, sensitive and time-consuming process. This study examines the country's meteorological network, which is managed under the supervision of the Ministry of Energy, and the pathology of the current state of meteorological measurements. Accordingly, network evaluation was performed in three major sections: network status evaluation in terms of statistics and field visits and evaluation of the measurement trustee. The survey of measurement system administrators varies around the world, and the focus of measurement varies from ministry to ministry, depending on the macro goals of water and water productivity in each country. A study of the statistics of the country's measurement network showed that one of the most important problems is the lack of stations in the highlands and the lack of a long-term statistical period. Although the construction of the stations is more than half a century old, proper management over time has not been able to observe a proper network. Field evaluation of meteorological stations in the country also showed that the lack of attention to the necessary equipment and infrastructure, the cost of the measurement process, lack of culture regarding the need for measurement, managers' inattention to the measurement process and etc. have been caused that the quality and quantity of measurements are affected. Establishing a proper monitoring network, although it has high initial costs, but the return on investment is necessary and important due to the necessity of statistics and information to implement any development plan.

Keywords: Monitoring Network, Meteorology, Field Evaluation, Measurement Management, Equipment.

*Corresponding author's Email: hkardan@ut.ac.ir

ارزیابی شبکه سنجش و پایش آب و هواشناسی ایران

حمید کاردان مقدم*[۱]، حسین دهبان[۱]، علیرضا کاوسی حیدری[۱]، رضا روزبهانی[۱]، مسعود بحرینی مطلق[۱]، محمدجواد زارعیان[۱]

۱. پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۳۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۸/۲۴)

چکیده

بهره‌برداری مناسب از منابع آب موجود و اجرای طرح‌های توسعه‌ای، مستلزم داشتن یک بانک اطلاعاتی دقیق و بروز از آمار و اطلاعات آب وهواشناسی است. فرآیند اندازه‌گیری داده‌های آب و هواشناسی تا ثبت در بانک اطلاعاتی، فرآیندی دقیق، حساس و زمان‌بر است. این مطالعه به بررسی شبکه آب و هواشناسی کشور که زیر نظر وزارت نیرو مدیریت می‌شود پرداخته و آسیب‌شناسی وضعیت فعلی اندازه‌گیری آب و هواشناسی را مورد بررسی قرار می‌دهد. براین اساس ارزیابی شبکه در سه بخش کلان ارزیابی وضعیت شبکه از نظر آماری و بازدید میدانی و ارزیابی متولی اندازه‌گیری بررسی شد. بررسی متولیان نظام اندازه‌گیری در سطح دنیا متفاوت بوده و تمرکز اندازه‌گیری در یک وزارتخانه تا چند وزارتخانه با توجه به اهداف کلان آب و بهره‌وری آب در هر کشور متفاوت است. بررسی آمار شبکه اندازه‌گیری کشور نشان داد که یکی از مهمترین معضلات عدم وجود ایستگاه در مناطق مرتفع و نداشتن یک دوره‌ی آماری درازمدت است. اگرچه سبقه احداث ایستگاه‌ها بیش از نیم قرن است اما مدیریت مناسبی در طی زمان نتوانسته شبکه مناسبی را رصد کند. ارزیابی میدانی ایستگاه‌های آب و هواشناسی کشور نیز نشان داد که عدم توجه به تجهیزات و زیرساخت‌های لازم، هزینه‌بر بودن فرایند اندازه‌گیری، عدم فرهنگ‌سازی در خصوص لزوم اندازه‌گیری، بی توجهی مدیران به فرآیند اندازه‌گیری و غیره سبب شده تا کیفیت و کمیت اندازه‌گیری‌ها تحت تاثیر قرار گیرد. ایجاد یک شبکه پایش مناسب اگرچه دارای هزینه‌های اولیه بالایی است اما نسبت بازگشت سرمایه با توجه به ضروری بودن آمار و اطلاعات جهت اجرای هر طرح توسعه‌ای ضروی و حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: شبکه پایش، آب و هواشناسی، ارزیابی میدانی، متولی اندازه‌گیری، تجهیزات.

مقدمه

طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی و سازمان ملل (WMO and UNESCO, 1997)، بررسی‌های پایه منابع آب[۱] شامل پایش و پردازش داده‌های آب و هواشناسی و تحلیل داده‌های کمکی لازم برای درون‌یابی مکانی داده‌های مزبور به منظور ارزیابی اولیه منابع آب در دسترس می‌باشد، که برنامه‌های ملی و منطقه‌ای بلندمدت برای توسعه کلی منابع آب بر اساس آن پایه‌گذاری می‌شود (WMO, 1997). در ایران شناسایی و پایش تغییرات زمانی و مکانی منابع و مصارف آب و نیز بررسی و تحلیل‌های اولیه آنها، در قالب مجموعه فعالیت‌هایی تحت عنوان مطالعات پایه منابع آب تعریف شده است. آگاهی از نتایج مطالعات پایه منابع آب، پیش‌نیاز کلیه برنامه‌های مدیریت منابع آب، سامانه‌های پیش‌هشدار آب و هواشناسی، مطالعات زیست محیطی و فعالیت‌های توسعه‌ای کشاورزی و صنعتی در سطوح خرد و کلان می‌باشد. اولین گام در رصد اطلاعاتی پارامترهای منابع آب، راه‌اندازی ایستگاه‌های سنجش پارامترهای آب و هواشناسی است.

فعالیت‌های منظم هواشناسی، اولین بار با اندازه‌گیری عناصر جوّی، توسط سفارتخانه‌های انگلیس و روس در تهران و مناطق نفت‌خیز جنوب کشور در دوران قاجار آغاز شد و پس از آن در سال ۱۳۰۸ اولین ایستگاه مجهز دیده‌بانی پارامترهای هواشناسی را انجام می‌داد. عمده فعالیت‌های بخش هواشناسی به‌صورت پراکنده انجام می‌گرفت تا اینکه در سال ۱۳۳۴ سازمان هواشناسی به عنوان یک سازمان مستقل زیر نظر وزارت راه و ترابری تاسیس و کلیه ایستگاه‌های تاسیس شده تا آن زمان، به این سازمان واگذار گردید. در آن زمان، تعداد ۳۴ ایستگاه سینوپتیک، ۱۰۷ ایستگاه اقلیم‌شناسی و ۱۶۰ ایستگاه باران‌سنجی موجود بود. بررسی اجمالی فرآیند اندازه‌گیری، ثبت و ذخیره‌سازی شبکه منابع آب کشور نشان می‌دهد که از سال ۱۳۰۷ با تصویب اولین قانون مدنی در کشور، بحث آب و بهره‌برداری از منابع آب مورد بحث قرار گرفته است. لذا به‌منظور برنامه‌ریزی جهت تحقق اهداف کلان مطالعه و اجرای پروژه‌های آب و آبیاری و همچنین توسعه و بهره‌برداری از منابع آب ایجاد ایستگاه‌های آب و هواشناسی در

*نویسنده مسئول: hkardan@ut.ac.ir

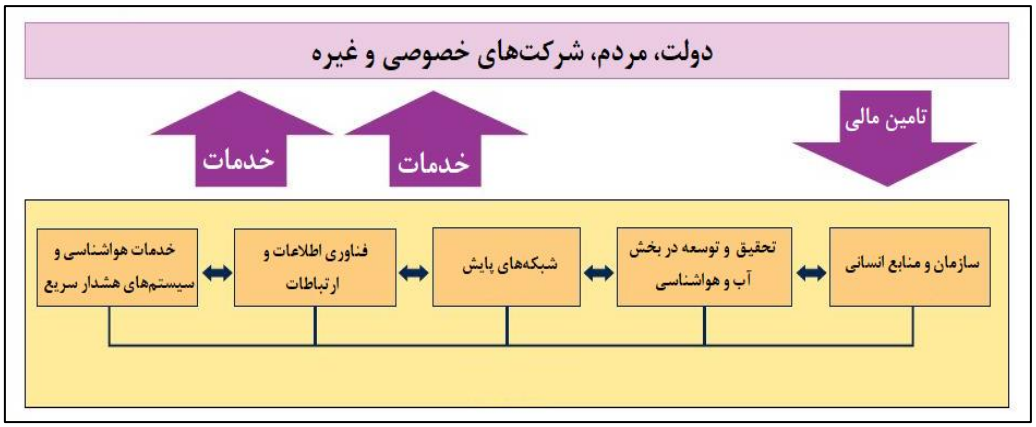
1- Basic Water Resources Assessment, Basic WRA

کشور از همین دوران آغاز گردید. بنگاه مستقل آبیاری به‌عنوان اولین نهاد مستقل زیر نظر وزارت کشاورزی، جهت مدیریت بخش آب در کشور از سال ۱۳۲۲ شروع به فعالیت کرد. از اولین اقدامات این بنگاه ساخت ایستگاه آب‌سنجی در رودخانه‌های اطراف تهران از قبیل کرج، حبله‌رود، لار و جاجرود جهت بررسی و تحلیل وضعیت منابع آب سطحی بود.

سیر تحولات شکل گرفته در شبکه پایش آب و هواشناسی کشور نشان می‌دهد که توسعه شبکه یکی از مهمترین اقدامات در سالهای اخیر بوده و توجه به افزایش تعداد ایستگاه‌های سنجش آب و هواشناسی مورد توجه مدیران آب قرار داشته است. اما رویکرد کیفیت داده و اطلاعات در کنار کمیت داده لزوم ایجاد یک شبکه با زیرساخت‌های نوین را طلب می‌کند. اکثر مطالعات انجام شده در سطح دنیا نشان می‌دهد که داده‌های پایه منابع آب بسیار ضروری بوده و تحلیل‌ها و ارزیابی‌های انجام شده روی کیفیت داده انجام گرفته و کمتر به ارزیابی ماهیت داده‌ها و نحوه اندازه‌گیری پرداخته شده است. پروژه‌های کلان منابع آب و توسعه شبکه‌های پایش منابع آب در سطح دنیا نشان می‌دهد که ایجاد زیرساخت‌های مناسب فنی و ارتباطی در کنار تعهد کاری توانسته در کشورهای جهان سوم نیز پروژه‌های موفقی را ایجاد کند. پروژه هیدرولوژی هند، طرح پایش منابع آب کنیا و غیره از جمله پروژه‌های کلان در این حوضه می‌باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی شبکه سنجش آب سطحی و هواشناسی کشور به منظور شناسایی نقاط ضعف و قوت در جهت ارتقاء کیفیت نظام مطالعات پایه منابع آب مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه افزایش تعداد ایستگاه‌ها جهت سنجش پارامترهای آب و هواشناسی گام مهم جهت توسعه و افزایش آمار و اطلاعات است اما کیفیت سنجش نیز به نوبه خود نقش به‌سزایی در این توسعه دارد.

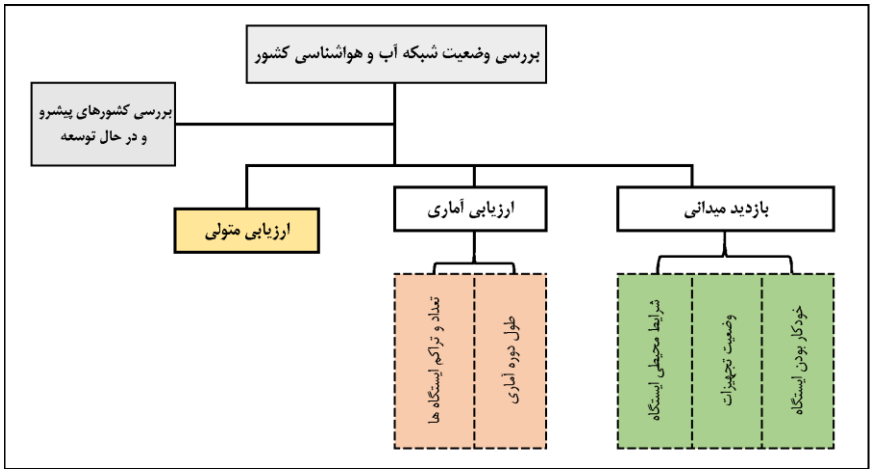
مواد و روش‌ها

بررسی و جمع‌آوری اطلاعات پایه منابع آب دارای هزینه اولیه بالایی بوده که در کنار آن جهت داشتن یک دوره‌ی زمانی جهت تحلیل نیاز به سال‌ها اندازه‌گیری، تحلیل و ثبت اطلاعات است. این هزینه و زمان لزوم داشتن اطلاعات بلندمدت و بهنگام منابع آب را جهت مدیریت جامع و صحیح آب بسیار ارزشمند و ضروری می‌سازد. مطالعات پایه منابع آب ارتباط نزدیکی با بخش‌های مختلف اجرایی، تحقیقاتی و تصمیم‌گیری دارد. در شکل (۱) چارچوب ارتباطی بین نهادهای مطالعات پایه منابع آب و بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ارتباط مطالعات پایه منابع آب و دیگر بخش‌ها

بررسی و تحلیل وضعیت شبکه پایش منابع آب در سطح دنیا نشان می‌دهد که امروزه علاوه بر معیار اندازه‌گیری و دقت، نرخ تقاضای اخذ داده‌های بهنگام منابع آب توسط مصرف‌کنندگان در کشورهای مختلف در حال افزایش است. این موضوع لزوم ایجاد یک شبکه مدرن با زیرساخت‌های ارتباطی و امنیتی را جهت سنجش و پایش پارامترهای کمی و کیفی منابع آب حائز اهمیت کرده است. سازمان‌ها و ارگان‌های متعددی در دنیا و کشور اندازه‌گیری و پایش منابع آب را انجام می‌دهند. این پایش تحت استاندارد و الگوهای محلی و بین‌المللی در حال انجام است. بررسی اجمالی صنعت پایش آب نشان می‌دهد که سازمان‌های USGS و WMO به عنوان دو ارگان پیشرو در کلیه بخش‌های پایش منابع آب فعال هستند. براساس بررسی‌های انجام شده حدود ۶۶٪ بخش پایش آب از استانداردها و روش‌های USGS جهت انجام فرآیند سنجش و پایش تبعیت می‌کنند. براین اساس شناسایی و ارزیابی شبکه پایش منابع آب یکی از ملزومات توسعه در بخش کلان منابع طبیعی می‌باشد. با توجه به هدف این مطالعه که شناخت وضعیت فعلی بخش هواشناسی و آب سطحی در سطح کشور و ارزیابی وضعیت کلان آن است، فلوچارت ۲ مراحل این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مراحل پژوهش

وضعیت شبکه هواشناسی

از نظر مطالعات هواشناسی عمومی و بررسی‌های تخصصی هیدرولوژی، ایستگاه‌های احداث شده با توجه به هدف و نوع تجهیزات به ۵ گروه کلی همدیدی (سینوپتیک)، اقلیم‌شناسی (کلیماتولوژی)، تبخیرسنجی، باران‌سنجی و برف‌سنجی تقسیم می‌شوند. سه دسته همدیدی (سینوپتیک)، اقلیم‌شناسی (کلیماتولوژی) و باران‌سنجی زیر نظر سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های تبخیرسنجی، باران‌سنجی و برف‌سنجی زیر نظر دفتر مطالعات پایه منابع آب فعالیت دارد (جدول ۱).

جدول ۱- انواع ایستگاه‌های هواشناسی کشور

متولی	نوع ایستگاه	همدیدی	اقلیم‌شناسی	باران‌سنجی	تبخیرسنجی	برف‌سنجی
سازمان هواشناسی	تعداد	۴۰۶	۶۹۵	۳۳۲۴		
	درصد	۹	۱۶	۷۵		
وزارت نیرو	تعداد			۱۳۲۴	۶۷۱	۳۳۴
	درصد			۵۷	۲۹	۱۴

در این ایستگاه‌های معرفی شده ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به‌عنوان کامل‌ترین ایستگاه دیده‌بانی، ثبت و ارسال همزمان گزارش‌های جوی کشور را در بازه‌های غالباً سه ساعته انجام می‌دهند. این ایستگاه‌های در شبکه جهانی هواشناسی WMO تحت استانداردهای بین‌المللی فعالیت کرده و دقیق‌ترین آمار و اطلاعات را در اختیار بهره‌برداران می‌گذارند. از سوی دیگر ایستگاه تبخیرسنجی و اقلیم‌شناسی نیز روزانه سه مرتبه اندازه-گیری و ثبت پارامترهای هواشناسی را انجام می‌دهند. در ایستگاه‌های باران‌سنجی ارتفاع بارش، ضخامت برف و آب معادل آن اندازه‌گیری می‌شوند که در ایستگاه‌های تحت تولی دفتر مطالعات پایه منابع آب دیده‌بانی و ثبت داده‌ها دو مرتبه در روز و در ایستگاه‌های تحت تولی سازمان هواشناسی یک مرتبه در روز انجام می‌شود. در ایستگاه‌های برف‌سنجی متغیرهای اندازه‌گیری برف شامل ضخامت، چگالی و آب معادل برف اندازه‌گیری می‌شود.

وضعیت شبکه آب سطحی

پایش کمی منابع آب سطحی شامل اندازه‌گیری مستقیم آبدهی در ایستگاه آب‌سنجی انجام می‌شود. سطح آب اشل با دقت سانتی‌متر توسط متصدیان آب سطحی و اندازه‌گیری مستقیم آبدهی نیز با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه یا میکرومولینه)، تحت نظارت و هدایت گروه آب سطحی شرکت‌های آب منطقه‌ای انجام می‌شود. محل احداث ایستگاه‌های آب‌سنجی معمولاً روی رودخانه‌های پرآب، شاخه اصلی ورودی و خروجی دشت‌ها، سراب و پایاب تاسیسات آبی و غیره می‌باشد. ایستگاه‌های آب‌سنجی براساس نوع تجهیزات و نحوه اندازه‌گیری در چهار رده تقسیم-بندی می‌شود. در حال حاضر بیش از ۱۱۳۰ ایستگاه آب‌سنجی در کشور فعالیت دارد که نزدیک به ۵۰۰ ایستگاه درجه یک است. احداث ایستگاه‌های آب‌سنجی از دهه ۲۰ شمسی به‌طور رسمی آغاز گردید و تا قبل از دهه ۹۰ با رشد مناسبی همراه بود. شکل (۳) روند تاسیس ایستگاه‌های آبسنجی را به صورت تجمعی و سالانه نشان می‌دهد. بررسی این نمودار نشان می‌دهد از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۶ (در یک بازه زمانی حدود ۴۰ سال)، تعداد ایستگاه‌ها (یا به عبارتی نقاط اندازه‌گیری آبدهی منابع آب سطحی) با یک روند نسبتاً ثابت سالانه رو به افزایش بوده و در

بازه زمانی شش ساله بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ هیچ گونه ایستگاه جدیدی تاسیس نشده است.

در ایستگاه‌های آب‌سنجی وضعیت کیفی منابع آب نیز مورد سنجش قرار می‌گیرد که نمونه‌برداری از آب رودخانه در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی اصولاً به صورت ماهانه برای آنالیز هیدروشیمیایی و تعیین میزان رسوب و نیز در مواقع سیلابی برای تعیین میزان رسوب انجام می‌شود. ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی شامل آنالیز هیدروشیمیایی و نیز تعیین میزان جرم رسوبات می‌شود.

نحوه ارزیابی وضعیت شبکه

جهت بررسی شبکه آب و هواشناسی در سطح کشور معیارهای متعددی می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرد. این معیارها براساس استانداردهای بین‌المللی و شرایط فیزیکی ایستگاه‌های می‌بایست مورد سنجش قرار گیرد. بررسی وضعیت تعداد و تراکم ایستگاه‌ها، دوره‌ی آماری، شرایط محیطی ایستگاه، وضعیت تجهیزات، خودکار بودن ایستگاه‌ها و متولی شبکه به‌عنوان پارامترهای ارزیابی در این مطالعه در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی مناسب این معیارها از روش‌های آماری و میدانی استفاده گردید. همچنین به‌منظور بررسی متولی شبکه پایش نیز با بررسی ساختار شبکه اندازه‌گیری در کشورهای پیشرو در مطالعات پایه منابع آب و کشورهای منطقه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. کشورهای پیشرو و در حال توسعه با رویکرد نزدیکی به ایران و شباهت‌های اقلیمی، ارتفاعی، محیطی و غیره شامل آمریکا، استرالیا، ژاپن، سوئد، ترکیه، چین، هند و پاکستان مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی با استفاده از روش‌های آماری و استانداردهای موجود

سازمان جهانی هواشناسی همواره استانداردهای مناسبی را برای پارامترهای مختلف آب و هواشناسی ارائه می‌دهد. این استانداردها معمولاً حداقل شرایط لازم را برای شبکه سنجش در نظر می‌گیرند و برای رسیدن به شرایط ایده‌آل و بهینه می‌بایست براساس روش-های جدید بهره گرفت. استانداردهای پیشنهادی سازمان جهانی هواشناسی جهت بررسی تعداد و تراکم ایستگاه‌های آب و هواشناسی مطابق جدول (۲) مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- حداقل تراکم ایستگاه‌های آب و هواشناسی به پیشنهاد سازمان جهانی هواشناسی (مساحت km^2)

فیزیک منطقه	بارندگی		تبخیر	جریان سطحی	رسوب	کیفیت آب
	ذخیره‌ای	غیرذخیره‌ای				
ساحلی	۹۰۰	۹۰۰۰	۵۰۰۰۰	۲۷۵۰	۱۸۳۰۰	۵۵۰۰۰
کوهستان	۲۵۰	۲۵۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰	۶۷۰۰	۲۰۰۰۰
دشت‌ها	۵۷۵	۵۷۵۰	۵۰۰۰	۱۸۷۵	۱۲۵۰۰	۳۷۵۰۰
مناطق کوهپایه‌ای	۵۷۵	۵۷۵۰	۵۰۰۰۰	۱۸۷۵	۱۲۵۰۰	۴۷۵۰۰

ارزیابی شبکه پایش براساس بازدید میدانی

پایش مستمر پارامترهای آب و هواشناسی در شبکه سنجش توسط وزارت نیرو و سازمان هواشناسی مورد پایش قرار می‌گیرد. با توجه به استانداردهای بین‌المللی در خصوص انجام فعالیت‌های سازمان هواشناسی در ایستگاه‌های تحت تولی، در این مطالعه تنها به بررسی و بازدید میدانی از شبکه تحت تولی وزارت نیرو پرداخته می‌شود. پارامترهای هواشناسی مورد سنجش در وزارت نیرو شامل مقدار و شدت بارش، دما، رطوبت نسبی، ارتفاع و آب معادل برف، سرعت و جهت باد و تبخیر از سطح آزاد بصورت منظم و پیوسته در بستر زمان در اغلب ایستگاه‌ها و پارامترهای مثل دمای خاک، فشار هوا، تشعشع و غیره به‌صورت موردی در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. در بخش پایش منابع آب سطحی، پارامترهای کمی منابع آب از جمله جریان آب سطحی، رسوب و پارامترهای کیفیت آب اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به تعداد و پراکندگی بالای ایستگاه‌های آب و هواشناسی نیاز به انتخاب یک نمونه مناسب جهت تحلیل آماری براساس بازدید میدانی در سطح کشور وجود دارد. براین اساس جهت تعیین استان‌های مورد بازدید، از کیفیت عملکرد شرکت‌های آب منطقه‌ای در سطح کشور که توسط شرکت مدیریت منابع آب به‌صورت سالانه امتیازدهی می‌شود استفاده شد. با توجه به عملکرد استان‌های مختلف در آخرین دوره‌ی امتیازدهی (سال ۱۳۹۵) و پراکنش امتیاز بین حداقل و حداکثر امتیاز، استان‌های کشور به ۷ گروه تقسیم‌شدند. براین اساس استان‌های مورد بازدید به‌گونه‌ای انتخاب شدند که از هر گروه، حداقل یک استان جهت بازدید از ایستگاه‌ها انتخاب شود.

بعد از مشخص شدن استان‌های هدف جهت بازدید، با استفاده از روش نمونه‌برداری آماری برنولی تعداد ایستگاه‌هایی را که باید مورد بازدید قرار می‌گرفت مشخص گردید. این ایستگاه‌ها می‌بایست بیانگر اعضای جامعه‌ی ایستگاه‌های آب و هواشناسی باشد. روش برنولی یک روش احتمالاتی بوده که همه‌ی اعضای

جامعه دارای احتمال برابر می‌باشد. از دیگر خصوصیات این روش نمونه‌برداری ثابت بودن تعداد ایستگاه‌های انتخابی، مستقل بودن نمونه برداری، دوجمله‌ای بودن نتایج (بله/خیر) و ثابت بودن درصد احتمال فرضیه مورد سنجش (مولفه‌های انتخاب ایستگاه) است. رابطه برنولی به‌شرح زیر است:

$$N = \frac{P.q.Z^2}{e^2}$$ (رابطه ۱)

در این رابطه N تعداد نمونه، P احتمال وقوع، Q احتمال عدم وقوع، Z سطح معنی داری و e سطح اطمینان است.

پس از مشخص‌شدن ایستگاه‌های مورد بازدید، سه مولفه‌ی شرایط محیطی ایستگاه، وضعیت تجهیزات و خودکار بودن ایستگاه‌ها در بازدید میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. بازدید میدانی در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در ۱۴ استان کشور انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی متولی شبکه آب و هواشناسی

بررسی و ارزیابی ساختار ارائه دهنده خدمات آب و هواشناسی در سطح جهان نشان می‌دهد که ارائه خدمات[۱]، وابستگی زیادی به نوع فعالیت و تولیدات در زمینه خدمات مرتبط با آب دارد. ساختار سازمانی در کشورهای مختلف براساس نوع فعالیت که خود تابعی از وضعیت فیزیکی کشور، اقلیم، توسعه‌یافتگی و غیره است زیرنظر یکی از مهمترین وزارتخانه‌ها قرار دارد. قرارگیری در ذیل یک وزاتخانه نشان‌دهنده‌ی نقش حاکمیتی مطالعات آب و هواشناسی است. جایگاه سازمانی ارائه‌دهندگان خدمات هیدرولوژیکی و هواشناسی (NMHS[۲]) در ۳۸٪ موارد در وزارتخانه مرتبط با محیط زیست و در ۲۹٪ موارد در وزارتخانه مرتبط با حمل و نقل قرار گرفته است. ارزیابی ساختار سازمانی ارائه دهندگان خدمات آب و هواشناسی نشان می‌دهد که ساختار سازمانی NMHS به قوانین ملی، سیاست‌گذاری‌های کلان کشورها در خصوص خدمات عمومی و نقش بخش خصوصی بستگی داشته و از این رو ساختار سازمانی NMHS از کشور به کشور دیگر بسیار متفاوت است. سازمان USGS یکی از بزرگ‌ترین و معتبرترین سازمان‌های ارائه دهنده خدمات آب و هواشناسی در آمریکا بوده که زیرنظر وزارت تجارت این کشور فعالیت دارد. با توجه به جنبه‌های هزینه‌ای که فعالیت‌های پایش منابع آب در برداشته و سیاست‌های کلان، این جایگاه سازمانی در نظر گرفته شده است. رویکرد دوم سازمانی قرار داشتن در وزارتخانه مستقل آب یا منابع آب است. کشورهای نظیر چین و هند وزارتخانه‌ای جهت انجام کلیه امور مرتبط با آب و مدیریت آن داشته و فرایندهای اندازه‌گیری و پایش منابع آب در آن انجام می‌شود. این رویکرد در کشور ایران نیز تحت عنوان وزارت نیرو در شرکت‌های آب منطقه‌ای فعالیت دارد. رویکرد سوم فعالیت زیرنظر ادارات هواشناسی زیر نظر وزارت راه است. یکی از مهمترین علل این قرارگیری، وجود سازمان هواپیمائی در این مجموعه و نیاز به اندازه‌گیری داده‌ها و پایش منطقه‌ای و جهانی آن است. سازمان هواشناسی کشور ژاپن از این نمونه است. در ایران نیز سازمان هواشناسی و سازمان هواپیمایی زیرمجموعه وزارت راه و ترابری بوده و به‌صورت مکمل فعالیت دارند.

در بعضی از کشورها، فعالیت‌های NMHS محدود به فعالیت ارائه شده در شکل بالا نبوده و سعی کرده‌اند متناسب به نیازهای جامعه، در زمینه‌های ژئوفیزیک، مسائل زیست‌محیطی، زمین‌لرزه، آتشفشان‌ها، سونامی و غیره نیز فعالیت‌های خود را توسعه دهند. در بسیاری از کشورها به خصوص کشورهایی در حال توسعه، اطلاعات نظیر میزان آب در دسترس، تامین آب مطمئن، وقایع حدی خیلی شدید نیز از فعالیت‌های مطالعات پایه منابع آب به حساب می‌آید. همچنین مدلسازی و پیش‌بینی سیلاب‌ها و اندازه‌گیری زمان واقعی پارامترهای آب و هواشناسی از جمله خدمات مطالعات پایه منابع آب در نظر گرفته می‌شود. براین اساس با گذشت زمان، رشد تکنولوژی و درجه توسعه‌یافتگی کشورها از جنبه‌های مختلف سبب شده تا تنوع نیازها در بخش خدمات آب و هواشناسی در کشورها تغییر و در حال افزایش باشد. لذا کشورها می‌بایست به سمتی حرکت کنند که وظایف و فعالیت‌های استاندارد با قابلیت بروزشدن را جهت تحقق ارائه خدمات برای خود درنظر گیرند.

ارزیابی شبکه پایش منابع آب براساس آمار و اطلاعات

سنجش و پایش پارامترهای آب و هواشناسی از مرحله‌ی اندازه‌گیری تا ثبت و ذخیره‌سازی در بانک اطلاعاتی متشکل از زنجیره‌ای از فرآیندهای به هم وابسته است که شامل افراد با وظایف تعریف شده و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری فنی است. بهره‌برداری از ایستگاه‌های سنجش پارامترهای آب و هواشناسی تحت پوشش هر استان بوده و فرآیند اندازه‌گیری، ثبت و ارسال اطلاعات را به عهده دارند.

بارش

به‌منظور ارزیابی وضعیت توزیع و موقعیت مکانی ایستگاه‌های پایش بارش، با توجه به موقعیت مکانی ایستگاه‌ها، وضعیت تراکم شبکه پایش هواشناسی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه دو

۱- بطورکلی مطالعات پایه منابع آب در سطح دنیا به ارائه خدمات آب و هواشناسی معطوف شده است.

۲- National Meteorological and Hydrological Services

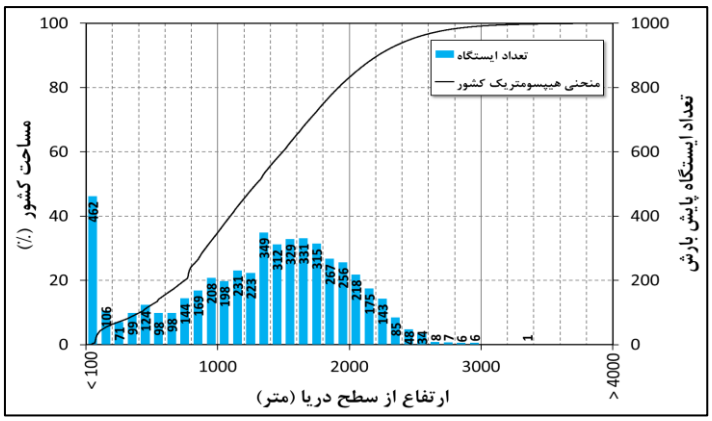
کشور در محدوده‌های کوه و دشت بررسی گردید. تراکم کمینه پیشنهادی WMO برای ایستگاه‌های پایش عمق بارش در محدوده کوه و دشت به ترتیب برابر با یک ایستگاه در هر ۲۵۰ و ۵۷۵ کیلومترمربع می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد، که حوضه‌های آبریز تالش-مرداب انزلی و قره‌سو-گرگان به ترتیب دارای بیشترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور می‌باشند. همچنین، حوضه آبریز کویر لوت، کمترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور را دارد.

با توجه به معیار تراکم ایستگاهی تعریف شده، تراکم ایستگاهی در سطح کوه و دشت برخی حوضه‌های آبریز و استان‌های کشور نامناسب می‌باشد، به‌طوری که مناطق کوهستانی وضعیت نامناسبتری نسبت به مناطق دشتی داشته و تعداد ایستگاه‌های پایش عمق بارش در نواحی کوهستانی کل کشور نیز به طور میانگین کمتر از معیار کمینه پیشنهادی WMO است. تحلیل مکانی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور براساس سطوح دایره‌ای شکل به مساحت ۲۵۰ و ۵۷۵ کیلومترمربع به ترتیب در محدوده کوه و دشت نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌ها در محدوده کوهستان‌ها و دشت‌های کشور به‌ترتیب بین صفر تا ۱۴ عدد در هر محدوده ۲۵۰ کیلومتر مربعی و صفر تا ۱۷ عدد در هر محدوده ۵۷۵ کیلومتر مربعی متغیر است. بر این اساس حدود ۵۵٪ سطح کوهستان‌ها و ۴۱٪ سطح دشت‌های کشور فاقد تراکم ایستگاهی مناسب برای پایش عمق بارش (طبق معیار کمینه تراکم پیشنهادی WMO) هستند (جدول ۳).

جدول ۳- وضعیت ایستگاه‌های موجود محدوده‌های کوه و دشت کشور برای پایش عمق بارش

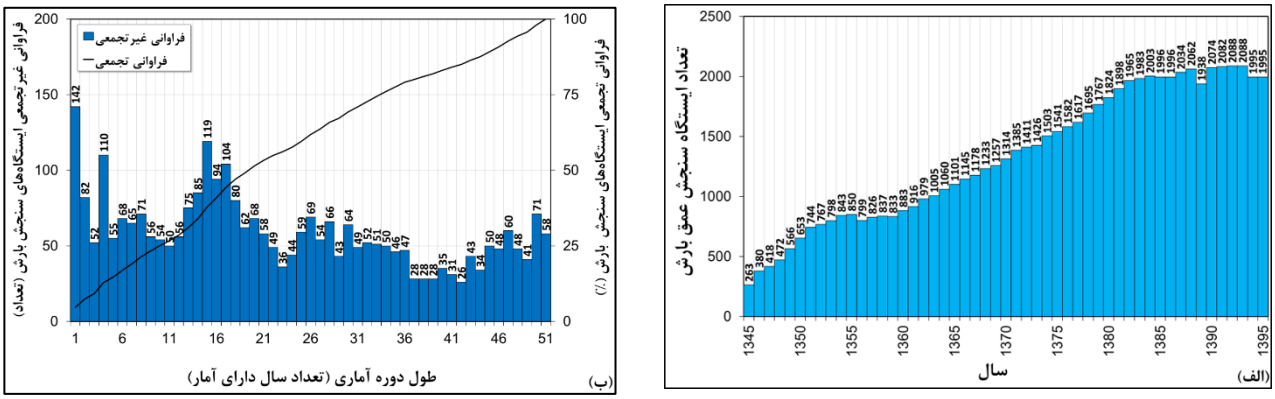
وضعیت نسبت به معیار تراکم کمینه پیشنهادی WMO	مساحت			
	کیلومترمربع		درصد	
	دشت	کوه	دشت	کوه
فاقد تراکم مناسب	۲۳۶۱۹۰	۵۷۹۷۱۴	۴۱	۵۵
تراکم برابر با معیار	۱۱۲۸۵۰	۲۵۲۳۶۰	۲۰	۲۴
تراکم بیش از معیار	۲۲۹۲۳۰	۲۲۱۲۲۸	۴۰	۲۱

شکل (۳) منحنی هیپسومتریک کل کشور را در کنار تعداد ایستگاه‌های موجود در هر بازه ارتفاعی ۱۰۰متری نشان می‌دهد. بررسی این نمودار نشان می‌دهد در شرایط کنونی ۴۶۲ ایستگاه پایش عمق بارش (معادل با بیش از ۹٪ کل ایستگاه‌ها)، در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۰۰ متر واقع شده‌اند. همچنین تنها یک ایستگاه پایش عمق بارش در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا[1] در کشور فعال است. به‌منظور بررسی طول دوره آماری ایستگاه‌های هواشناسی با توجه به عدم امکان دسترسی به آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سازمان هواشناسی تنها به بررسی وضعیت طول دوره آماری ایستگاه‌های سنجش عمق بارش دفتر مطالعات پایه منابع آب پرداخته شد که نتایج مطابق شکل (۴) تا سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری گردید.



شکل ۳- منحنی هیپسومتریک کل کشور در مقابل تراز ارتفاعی ایستگاه‌های موجود پایش عمق بارش

۱- ایستگاه اقلیم‌شناسی سیچال دیزین استان البرز در ارتفاع ۳۳۲۸ متر از سطح دریا واقع شده است.



شکل ۴- طول دوره‌ی آماری ایستگاه‌های سنجش عمق بارش (الف) و فراوانی تجمعی و غیرتجمعی طول دوره‌های آماری مختلف، از بدو تاسیس تاکنون (ب)

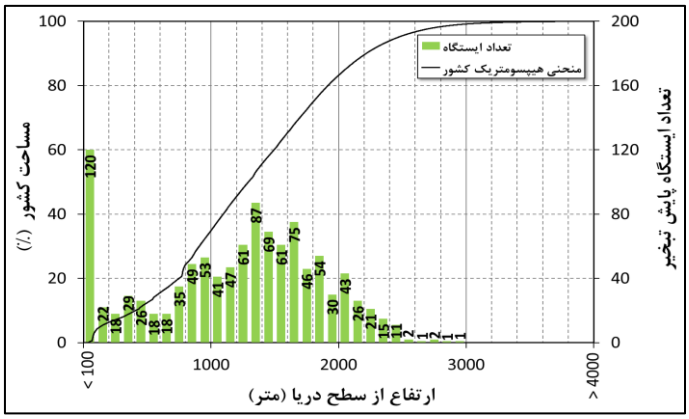
نتایج نشان می‌دهد که عمق بارش در ۳۰۱۴ ایستگاه مختلف از سال ۱۳۴۵ تا کنون اندازه‌گیری می‌شود و تعداد ایستگاه‌ها در سطح کشور در سال‌های مختلف روندی افزایشی داشته، که تقریباً از سال ۱۳۸۲، یعنی همزمان با تاسیس شرکت مدیریت منابع آب ایران، به تثبیت رسیده است. کمینه و بیشینه طول دوره آماری ایستگاه‌ها به ترتیب برابر با یک و ۵۱ سال می‌باشد. طول دوره‌ی آماری در کل کشور خیلی مناسب نبوده بطوریکه بیش از ۵۰ درصد کل ایستگاه‌های موجود طول دوره آماری کمتر از ۱۹ سال دارند. فقط ۱۸ درصد کل ایستگاه‌های کشور (به تعداد ۵۴۵ عدد) دارای طول دوره آماری ۴۰ سال یا بیشتر می‌باشند.

تبخیر

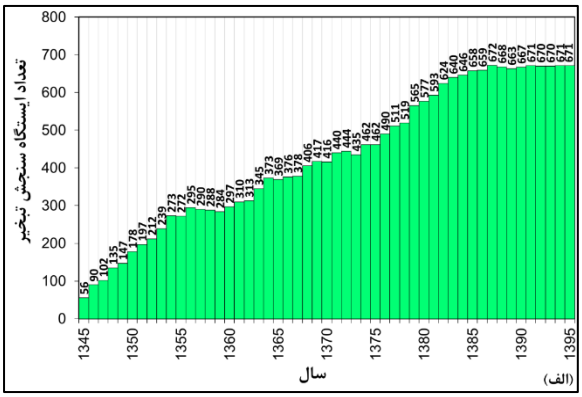
تبخیر یکی از متغیرهای مهم آب و هوایی در محاسبات بیلان می‌باشد. این متغیر با استفاده از تشت تبخیر در ایستگاه‌های تبخیرسنجی و همدیدی با دقت دهم میلی‌متر محاسبه و گزارش می‌شود. پراکنش مکانی ایستگاه‌های پایش میزان تبخیر در کشور بسیار ناهمگون بوده و به‌طور کلی به عواملی همچون فاصله از مراکز جمعیتی مهم (یا به عبارتی سهولت دسترسی) و وضعیت توپوگرافی بسیار وابسته است؛ به‌طوری که اغلب ایستگاه‌های پایش میزان تبخیر (به ویژه ایستگاه‌های همدیدی) در نزدیکی مراکز جمعیتی بزرگ و مناطق پست و دره‌ای‌شکل تمرکز یافته‌اند. وضعیت تراکم شبکه پایش میزان تبخیر به تفکیک محدوده‌های کوه و دشت در حوضه‌های آبریز درجه دو کشور نشان می‌دهد که حوضه‌های آبریز لاهیجان-نور و تالش-مرداب انزلی به ترتیب دارای بیشترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور می‌باشند. همچنین، حوضه آبریز کویر لوت، کمترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور را دارد.

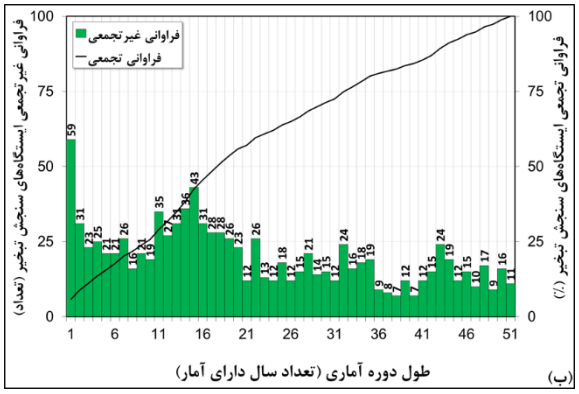
تراکم کمینه پیشنهادی WMO برای ایستگاه‌های پایش میزان تبخیر در محدوده کوه و دشت به ترتیب برابر با یک ایستگاه در هر ۵۰۰۰۰ و ۵۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. لذا تحلیل نتایج نشان داد که تعداد ایستگاه‌ها در محدوده کوهستان‌های کشور بین یک تا ۸۸ عدد در هر محدوده ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربعی متغیر بوده و تعداد ایستگاه‌ها در محدوده دشت‌های کشور نیز بین صفر تا ۲۳ عدد در هر محدوده ۵۰۰۰ کیلومتر مربعی متغیر است. بر این اساس، تراکم ایستگاه‌های پایش میزان تبخیر در تمامی سطح کوهستان‌های کشور بیش از کمینه پیشنهادی WMO می‌باشد. بررسی ارتفاعی ایستگاه‌های سنجش پارامتر تبخیر نشان می‌دهد که در شرایط کنونی ۱۲۰ ایستگاه (معادل با بیش از ۱۱ درصد کل ایستگاه‌ها)، در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۰۰ متر واقع شده‌اند و تنها ۷ ایستگاه در تراز ارتفاعی بیش از ۲۵۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است. در شکل (۵) نسبت تعداد ایستگاه به طبقات ارتفاعی ایستگاه‌های تبخیرسنجی نشان داده شده است.

براساس طول دوره‌ی آماری ایستگاه‌های تبخیرسنجی نشان می‌دهد که ثبت میزان تبخیر در ۱۰۲۰ ایستگاه تبخیرسنجی مختلف در سطح کشور انجام شده است، به طوری که بیشینه تعداد ایستگاه‌های فعال در یک سال به ۶۷۲ عدد رسیده است و هم اکنون نیز به ۶۷۱ عدد می‌باشد. تعداد ایستگاه‌ها در سطح کشور در سال‌های مختلف روند افزایشی داشته، که تقریباً از سال ۱۳۸۲، یعنی همزمان با تاسیس شرکت مدیریت منابع آب ایران، به تثبیت رسیده است. بیش از ۵۰ درصد کل ایستگاه‌های موجود دارای طول دوره آماری کمتر از ۱۷ سال هستند. کمتر از ۱۶ درصد کل ایستگاه‌ها (به تعداد ۱۶۷ عدد) دارای طول دوره آماری ۴۰ سال یا بیشتر می‌باشند.



شکل ۵- منحنی هیپسومتریک کل کشور در مقابل تراز ارتفاعی ایستگاه‌های کنونی پایش میزان تبخیر

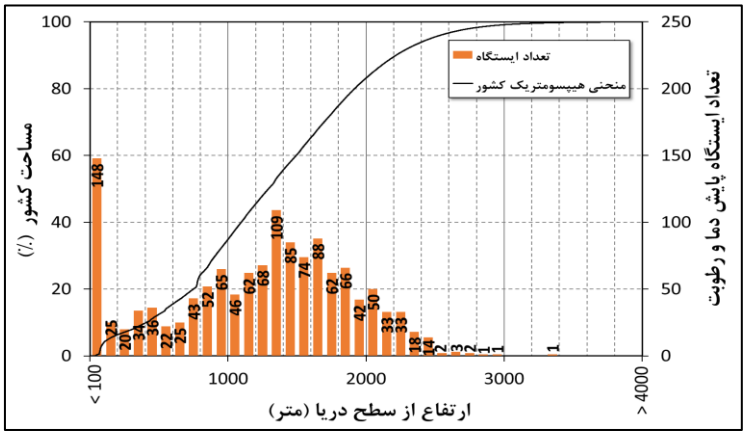




شکل ۶- تعداد ایستگاه‌های سنجش میزان تبخیر (تبخیرسنجی) طی سال‌های مختلف (الف) فراوانی تجمعی و غیرتجمعی طول دوره‌های آماری، از بدو تاسیس تا کنون (ب)

دما و رطوبت نسبی

وضعیت شبکه پایش دما و رطوبت نسبی هوا در کشور مشابه یکدیگر می‌باشد که بررسی پراکنش مکانی این ایستگاه‌ها حاکی از ناهمگون بودن ایستگاه‌ها است، به‌طوری که اغلب ایستگاه‌ها در نزدیکی مراکز جمعیتی مهم و مناطق پست و دره‌ای‌شکل تمرکز یافته‌اند. حوضه‌های آبریز لاهیجان-نور و قره‌سو-گرگان به‌ترتیب دارای بیش‌ترین تراکم ایستگاهی و حوضه آبریز کویر لوت، کمترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور را دارد. میزان مطلوبیت تراکم ایستگاه‌های پایش دما و رطوبت، به علت عدم وجود معیاری جهانی بدین منظور، مورد ارزیابی قرار نگرفت. بررسی تغییرات ارتفاعی ایستگاه های سنجش دما و رطوبت‌نسبی مطابق شکل (۷) نشان می‌دهد که در شرایط کنونی ۱۴۸ ایستگاه (معادل با بیش از ۱۱٪ کل ایستگاه‌ها)، در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۰۰ متر واقع شده‌اند. همچنین فقط یک ایستگاه پایش متغیرهای دمائی و رطوبت نسبی در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر در کشور فعال می‌باشد. همچنین طول دوره‌ی آماری برای این دو پارامتر مشابه متغیر تبخیر می‌باشد.



شکل ۷- منحنی هیپسومتریک کل کشور در مقابل تراز ارتفاعی ایستگاه‌های موجود پایش دما و رطوبت

ارزیابی پارامترهای شبکه آب سطحی

بر اساس آخرین اطلاعات اخذ شده از دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران، تعداد ۱۱۱۹ ایستگاه آب‌سنجی در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در سطح کشور فعال بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، پراکنش مکانی ایستگاه‌های آب‌سنجی در کشور بسیار ناهمگون بوده و به طور کلی به عواملی همچون اقلیم، رده آبراهه (یا به عبارتی میزان آبدهی)، موقعیت در حوضه آبریز، موقعیت سدها (ورودی و خروجی مخازن) و مرزهای سیاسی کشور و استان‌ها مرتبط می‌باشد. تراکم کمینه پیشنهادی WMO برای ایستگاه‌های آب‌سنجی در محدوده کوه و دشت به ترتیب برابر با یک ایستگاه در هر ۱۰۰۰ و ۱۸۷۵ کیلومترمربع می‌باشد. بررسی وضعیت تراکم ایستگاهی براساس معیار WMO نشان می‌دهد که حوضه‌های آبریز لاهیجان-نور و تالش-مرداب انزلی به ترتیب دارای بیشترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه و دشت در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور و حوضه آبریز کویر لوت، کمترین تراکم ایستگاهی محدوده کوه در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور را دارد و حوضه‌های آبریز پترگان-خواف و هامون مشکیل فاقد ایستگاه آب‌سنجی در محدوده دشت می‌باشند.

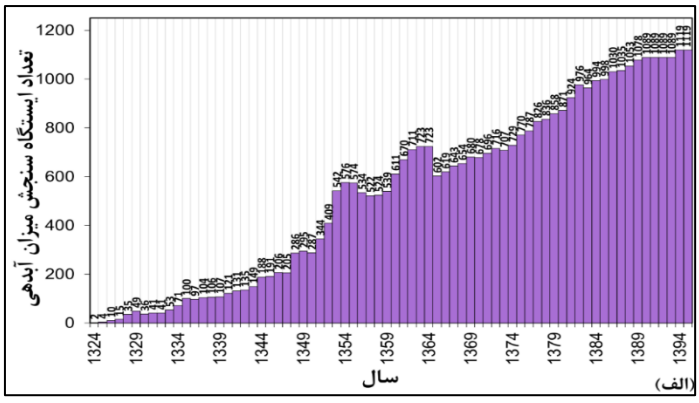
بررسی طول دوره آماری و تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی فعال مطابق شکل (۸) نشان داد که اندازه‌گیری آبدهی منابع آب سطحی تاکنون در ۱۷۱۴ ایستگاه مختلف در سطح کشور انجام شده است. حداکثر تعداد ایستگاه فعال ۱۱۱۹ عدد در سال‌های اخیر بوده است. تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح کشور در سال‌های مختلف روند افزایشی داشته و حداکثر طول دوره‌ی آماری ۷۱ سال است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد کل ایستگاه‌های موجود طول دوره آماری کمتر از ۱۸ سال داشته و تنها حدود ۱۶ درصد کل ایستگاه‌های کشور (به تعداد ۳۱۰ عدد) دارای طول دوره آماری ۴۰ سال یا بیشتر دارند.

با توجه به برآورد تراکم ایستگاهی و معیار استاندارد WMO، تراکم ایستگاهی در سطح کوه و دشت برخی حوضه‌های آبریز و استان‌های کشور نامناسب می‌باشد، به‌طوری که نواحی کوهستانی وضعیت نامناسبتری نسبت به نواحی دشتی دارند. به عبارت دیگر، از مجموع ۳۰ حوضه آبریز درجه دو کشور، به‌ترتیب ۱۸ و ۱۴ حوضه آبریز در محدوده کوه و دشت فاقد تراکم ایستگاهی آب‌سنجی مناسب هستند، به طوری که تراکم ایستگاه‌ها در محدوده کوه در کل کشور نیز کمتر از معیار کمینه پیشنهادی WMO می‌باشد.

در جدول (۴) ارزیابی میانگین مساحت تحت پوشش هر ایستگاه سنجش بارش، تبخیر و هیدرومتری نسبت به استاندارد WMO محاسبه و ارائه شده است.

تحلیل بازدید میدانی از شبکه سنجش

براساس روش برنولی و درنظرگرفتن سطح اطمینان ۹۵٪ و حداکثر خطای مجاز ۵٪ تعداد ۷۳ ایستگاه در سطح کشور می‌بایست مورد بازدید قرار گیرد. براین اساس تعداد ۷۳ ایستگاه آبسنجی و ۷۳ ایستگاه هواشناسی (تبخیرسنجی و باران‌سنجی) جهت بازدید میدانی و ارزیابی فرایند پایش شبکه آب و هواشناسی انتخاب شد. با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده به‌منظور انتخاب استان‌های مدنظر جهت بازدید میدانی، معیارهایی نظیر طبقات ارتفاعی، اقلیم، ساحلی بودن، مرزی بودن، مرکزیت و غیره مدنظر قرار گرفت و ۱۴ استان جهت بازدید انتخاب گردید. دو استان قزوین و خوزستان از گروه A به‌عنوان استان‌های پیشرو، سه استان مازندران، خراسان جنوبی و تهران از گروه B، سه استان گیلان، البرز و آذربایجان شرقی از گروه C، دو استان هرمزگان و ایلام از گروه D، دو استان خراسان رضوی و قم از گروه E، استان مرکزی از گروه F و استان زنجان نیز از گروه G جهت بازدید انتخاب شدند. تعداد ۷۳ ایستگاه آب سطحی و هواشناسی به نسبت تعداد کل ایستگاه‌های موجود برای هر استان تفکیک شد. در شکل (۹) گروه‌بندی استان‌ها و استان‌های منتخب جهت بازدید میدانی ارائه شده است.



شکل ۸- تعداد ایستگاه‌های سنجش آبدهی منابع آب سطحی کشور در سال‌های مختلف

جدول ۴- میانگین مساحت تحت پوشش در شبکه آب و هواشناسی به تفکیک حوضه آبریز درجه یک و دو-کیلومترمربع

حوضه آبریز	کد حوضه	آب سنجی		تبخیر		بارش	
		کوه	دشت	کوه	دشت	کوه	دشت
ارس	۱۱	۶۲۴	۵۷۲	۱۳۴۸	۲۵۴	۲۱۹	۹۰
رودخانه های تالش	۱۲	۲۳۱	۱۴۹	۷۷۱	۲۱۱	۲۲۰	۸۲
سفیدرود	۱۳	۸۰۸	۹۲۰	۱۲۳۲	۳۹۴	۲۱۸	۱۲۷
رودخانه های بین سفیدرود و هراز	۱۴	۲۵۲	۵۷۶	۵۸۲	۲۱۶	۱۶۹	۹۶
هراز و قره سو	۱۵	۳۵۱	۳۱۳	۶۸۶	۳۱۳	۱۹۲	۱۱۰
قره سو و گرگان	۱۶	۳۵۲	۲۳۷	۶۵۰	۲۳۷	۱۴۳	۸۵
اترک	۱۷	۱۱۲۹	۱۷۹۵	۲۶۸۲	۴۱۴	۱۷۹	۱۴۲
دریای مازندران		۹۰۴	۴۳۶	۱۰۹۷	۲۹۵	۱۹۹	۱۰۵
مرزی غرب	۲۱	۴۷۷	۲۴۴	۱۳۲۶	۲۱۵	۱۷۴	۹۲
کرخه	۲۲	۸۶۹	۶۱۳	۲۶۰۸	۵۲۱	۲۱۴	۱۲۹
کارون بزرگ	۲۳	۸۰۴	۷۳۶	۱۶۰۸	۴۳۴	۲۵۶	۱۴۳
جراحی و زهره	۲۴	۱۰۴۷	۳۵۶۰	۱۲۷۹	۱۰۴۷	۱۹۸	۳۲۴
حله	۲۵	۱۷۵۶	۱۲۱۱	۲۸۰۹	۴۲۷	۴۰۱	۹۶
مند	۲۹	۳۳۴۶	۲۷۶۰	۴۶۰۱	۵۵۲	۸۹۸	۱۱۳
کل - مهران	۲۷	۹۰۲۴	۱۷۸۴	۳۷۶۰	۷۱۴	۶۲۷	۱۲۷
بندرعباس - سدیج	۲۸	۲۳۴۷	۱۲۱۴	۴۴۰۱	۶۴۸	۵۰۳	۱۳۳
بلوچستان جنوبی	۲۹	۵۰۰۳	۴۲۸۰	۳۳۳۶	۱۲۲۳	۱۰۵۳	۴۰۸
دریای عمان و خلیج فارس		۱۲۸۶	۱۰۶۲	۲۳۴۰	۵۷۷	۳۳۹	۱۴۵
دریاچه ارومیه		۵۳۳	۵۸۵	۹۳۳	۵۶۴	۱۸۷	۱۴۹
دریاچه نمک	۴۱	۶۸۲	۱۰۲۸	۹۳۷	۵۷۹	۱۸۳	۱۵۷
گاو خونی	۴۲	۱۵۱۹	۲۱۲۸	۲۲۷۸	۸۶۷	۳۸۸	۲۹۳
طشک - بختگان - مهارلو	۴۳	۲۴۸۳	۱۴۰۸	۴۳۴۵	۸۲۸	۵۴۳	۱۳۵
ابرقو - سیرجان	۴۴	۳۰۴۰	۳۸۲۰	۵۰۶۶	۱۵۷۳	۵۷۳	۴۶۱
هامون جازموریان	۴۵	۲۴۰۲	۶۲۱۱	۳۸۴۳	۲۰۷۰	۶۳۰	۵۷۵
کویر لوت	۴۶	۸۴۹۲	۳۹۶۰۰	۹۷۹۹	۳۶۰۰	۱۴۴۸	۱۰۷۰
کویر مرکزی	۴۷	۳۵۸۰	۸۳۰۰	۶۴۴۳	۱۹۵۳	۷۶۷	۵۱۱
کویر سیاه کوه	۴۸	۲۷۰۸	۲۴۳۵۱	۴۰۶۲	۱۵۲۲	۳۹۳	۵۴۱
کویر درانجیر	۴۹	۳۴۹۵	۲۲۸۰۱	۳۱۰۶	۱۹۰۰	۵۰۸	۴۰۷
فلات مرکزی		۲۴۵۰	۴۰۷۱	۳۵۲۶	۱۴۷۳	۵۴۶	۳۹۰
نمکزار خواف	۵۱	۴۴۳۹	--	۲۹۵۹	۲۵۶۶	۶۸۳	۹۰۶
هامون هیرمند	۵۲	۹۱۲۵	۲۱۸۲	۶۰۸۳	۱۵۲۷	۸۶۹	۴۳۶
هامون مشکیل	۵۳	۹۰۶۶	--	۶۷۹۹	۱۳۱۷	۸۷۷	۳۸۴
مرزی شرق		۷۰۲۲	۵۶۹۹	۴۸۶۲	۱۷۳۴	۸۱۰	۵۲۵
قره قوم		۸۳۲	۲۲۹۲	۲۷۹۸	۹۱۷	۳۰۲	۳۴۴
کشور		۱۳۰۳	۱۸۵۴	۲۲۸۶	۹۳۰	۳۶۶	۲۵۷

این رنگ نشان‌دهنده تراکم کمتر از کمینه پیشنهادی WMO است.

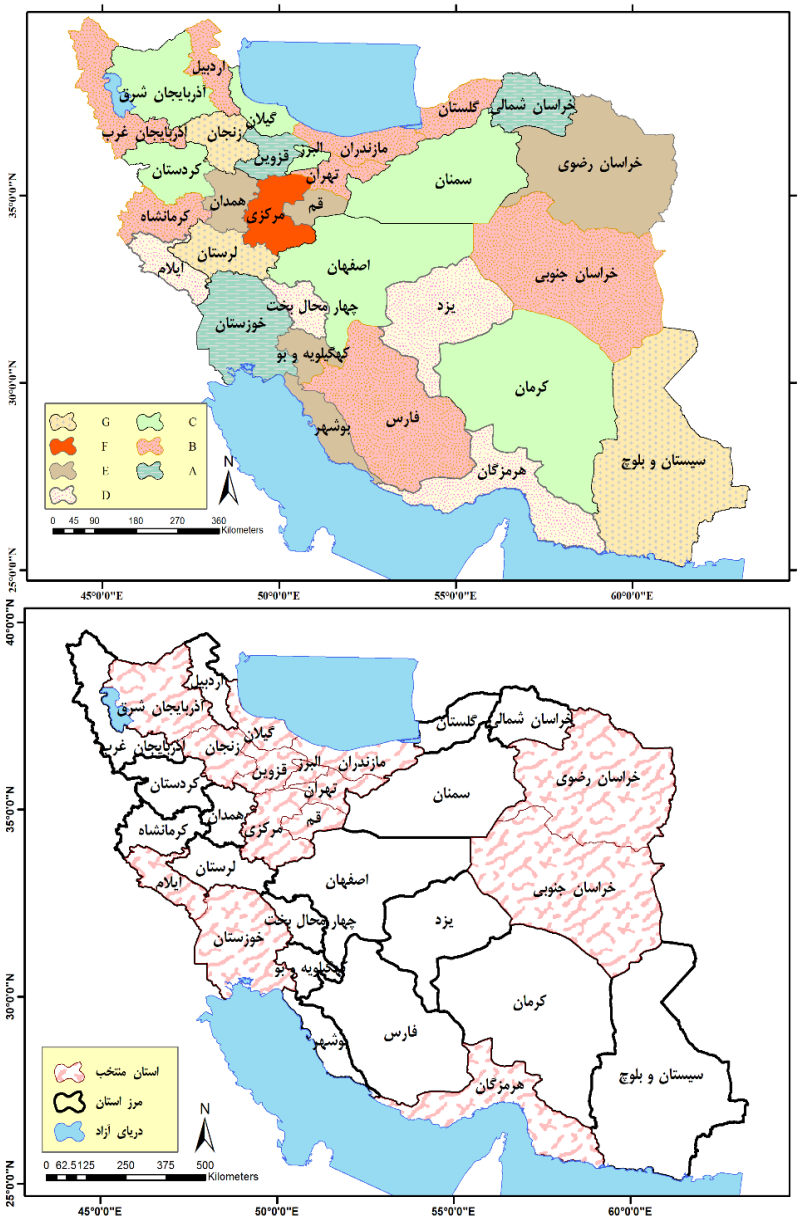
ارزیابی وضعیت ایستگاه سنجش آب و هواشناسی

وضعیت ایستگاه‌های سنجش پارامترهای آب و هواشناسی در سه بخش شرایط محیطی ایستگاه، تشخیص ایستگاه و راه دسترسی مورد ارزیابی قرار گرفت.

الف) شرایط محیطی ایستگاه: از نظر محل نصب ایستگاه، که یک گام بعد از طراحی شبکه پایش قرار دارد، مطابق با دستورالعمل و استانداردهای موجود، باید در محل نصب ایستگاه مواردی از قبیل دوری از تأسیسات مسکونی، درختان و غیره را داشته باشد. این موارد بخصوص در ایستگاه‌های هواشناسی حائز اهمیت است. اکثر ایستگاه‌های مورد بازدید مشکلی از این نظر نداشته ولی ایستگاه‌هایی که در مناطق شهری یا روستایی احداث شده است به‌دلیل عدم رعایت حریم ایستگاه‌ها دارای مشکل است.

این موضوع در ایستگاه‌های مناطق جنگلی که دارای حجم بالای درخت است نیز مشاهده شد. لذا تدوین یک دستورالعمل مناسب جهت حریم ایستگاه‌های مختلف با توجه به موقعیت مکانی و توسعه‌های در حال انجام ضروری است (شکل ۱۰).

ب) تشخیص ایستگاه: از نظر نحوه تشخیص، تعدادی از ایستگاه‌های مورد بازدید، بدون نام (یا کد) جهت شناسایی ایستگاه در محل می‌باشند که این موضوع اکثراً در ایستگاه‌های بارانسنجی (ایستگاه‌های بارانسنج مستقل از ایستگاه‌های تبخیرسنج) فاقد شناسه یا کد در محل به صورت علائم و نشانه استاندارد هستند (شکل ۱۱).

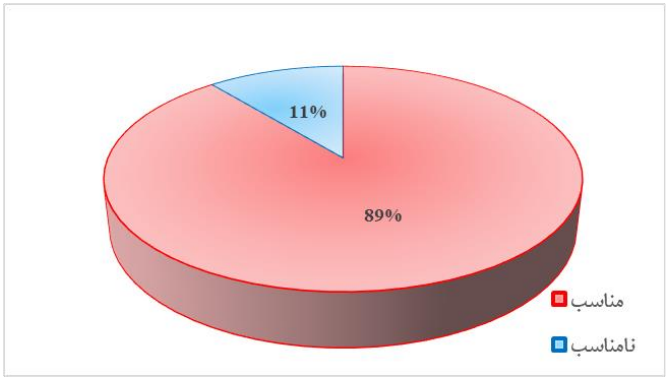


شکل ۹- گروه‌بندی استان‌های کشور

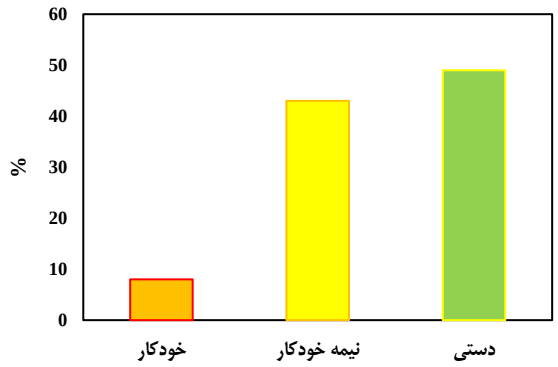
ج) راه دسترسی: اغلب ایستگاه‌های مورد بازدید در مجاورت راه‌های دسترسی قرار گرفته و دسترسی به آن‌ها در اکثر موارد به سادگی میسر است؛ لیکن برخی ایستگاه‌ها دارای مسیرهای خاکی و ناهموار بوده که زمان دسترسی به ایستگاه در شرایط بحرانی (مثل وقوع سیل) را افزایش می‌دهد و یا در مواردی غیر ممکن می‌سازد. همچنین استقرار ایستگاه‌های بارانسنج معمولی در املاک شخصی (پشت بام و حیاط منازل) باعث شده تا امکان دسترسی به آنها فقط در صورت حضور صاحب منازل وجود خواهد داشت.

در شکل (۱۲) نمونه‌ای از ایستگاه هواشناسی مورد بازدید قرار گرفت که فاقد مشخصات شناسایی و حریم است. در شکل (۱۳) نمونه‌ای از ایستگاه هیدرومتری است که بدلیل عدم ساخت

مناسب و شرایط محیطی، اشل در شرایطی است که در زمان سیلابی امکان مشاهده وجود نداشته و در زمان عادی(دبی پایه) نیز به سختی قابل مشاهده است.



شکل ۱۰- شرایط محیطی ایستگاه‌های آب و هواشناسی



شکل ۱۱- نحوه اندازه‌گیری داده‌ها در ایستگاه‌های آب و هواشناسی

شکل ۱۲- ایستگاه تبخیرسنجی فاقد مشخصات و عدم رعایت حریم

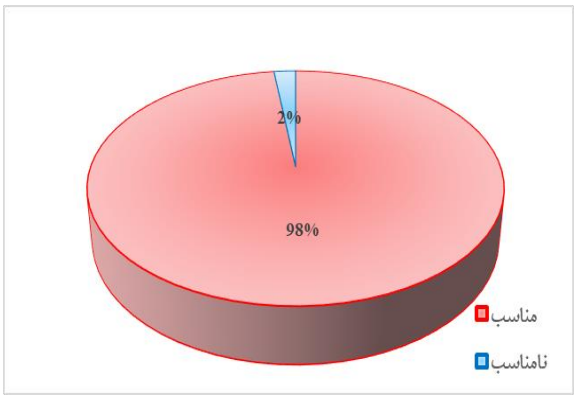
شکل ۱۳- ایستگاه آب‌سنجی و فاصله با اشل

ارزیابی وضعیت تجهیزات ایستگاه‌های آب و هواشناسی

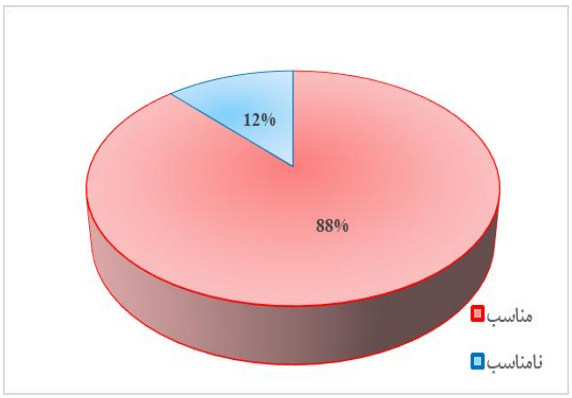
الف) ایستگاه‌های هواشناسی: تجهیزات اندازه‌گیری در ایستگاه-های آب و هواشناسی، بدنه اصلی شبکه سنجش را تشکیل می‌دهد که در صورت استاندارد نبودن و درست عمل نکردن هر یک از آن‌ها باعث می‌شود تا داده‌های اندازه‌گیری همراه با خطا باشد. ارزیابی تجهیزات در سه بخش ایستگاه‌های باران‌سنجی

مستقل، ایستگاه تبخیرسنجی و ایستگاه هیدرومتری انجام گرفت. از بین ایستگاه‌های هواشناسی مورد بازدید، تعداد ۴۶ ایستگاه تبخیرسنجی و ۲۷ ایستگاه بارانسجی (در مجموع ۷۳ ایستگاه هواشناسی) مورد بازدید قرار گرفت. اگر ایستگاه‌های بارانسجی موجود در ایستگاه‌های تبخیرسنجی را با ایستگاه‌های مستقل بارانسنجی در کنار هم قرار دهیم می‌توان گفت که در مجموع ۷۳ ایستگاه سنجش پارامتر بارش مورد بازدید قرار گرفته است. وضعیت شبکه سنجش پارامتر بارش نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات الکترونیکی در شبکه رشد داشته و براساس بازدید میدانی ۳۶٪ ایستگاه‌ها دارای تجهیزات الکترونیکی بصورت مستقل بوده و در ۲۸٪ ایستگاه‌ها تجهیزات الکترونیکی در کنار تجهیزات مکانیکی در حال اندازه‌گیری بارش است. در اکثر ایستگاه‌های باران‌سنجی مشکلی از نظر تجهیزات وجود ندارد.

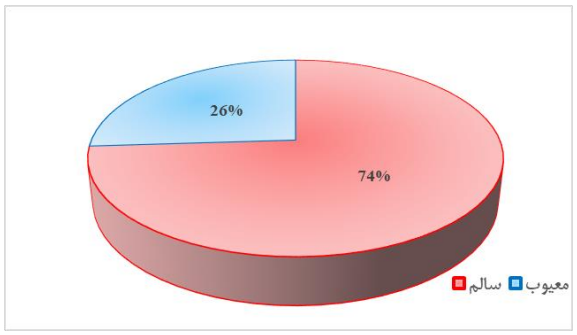
از بین ۴۶ ایستگاه تبخیرسنجی بازدید شده، کلیه ایستگاه فعال و در حال اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی بودند. در ایستگاه‌های تبخیرسنجی، چهار فاکتور جهت ارزیابی تجهیزات مورد بررسی قرار گرفت. جعبه اسکرین و محتویات آن (شامل دماسنج‌ها و رطوبت‌نگار)، تشت تبخیر، بادسنج کنار تشت تبخیر و سکوی برف مورد ارزیابی قرار گرفت.



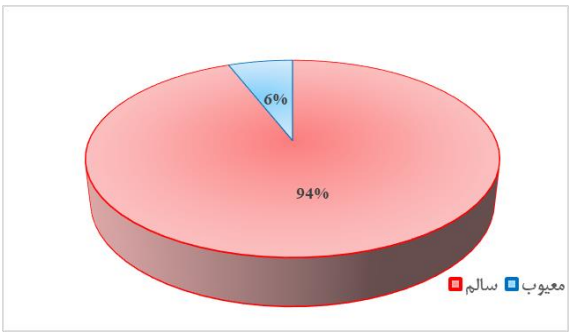
شکل ۱۴- وضعیت جعبه اسکرین



شکل ۱۵- وضعیت تشت تبخیر



شکل ۱۶- وضعیت بادسنج کنار تشت تبخیر

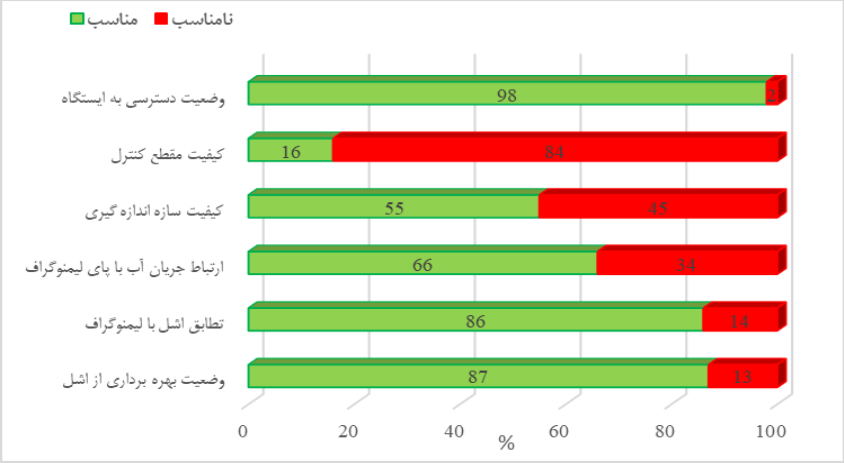


شکل ۱۷- وضعیت سکوی برف

بررسی پارامترهای هواشناسی مورد رصد نشان می‌دهد با توجه به وضعیت مناسب جعبه اسکرین در اکثر ایستگاه‌ها، سنجش پارامترهای دما، رطوبت و غیره دارای مشکلی از نظر تجهیزات نمی‌باشد. همچنین با توجه به پائین بودن تغییرپذیری این پارامتر در مکان، مشکلی از نظر سنجش پارامترهای مربوطه وجود ندارد. در مورد اندازه‌گیری میزان تبخیر با استفاده از تشت تبخیر، نسبت به اندازه‌گیری سایر پارامترها دقت مناسبی بدست نیامد. ۱۲٪ تشت‌ها مورد بازدید بصورت کلی نامناسب بوده و عملاً بهره‌برداری انجام نمی‌شود. همچنین در سایر تشت‌ها تبخیر مشکلاتی نظیر عدم سکوی مناسب، عدم داشتن توری روی سطح آب، تغییررنگ آب و عدم تعویض درازمدت آب نیر مشاهده شد که همه این موارد دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. سرعت باد در کنار تشت تبخیر نیز جهت برآورد دقیق بسیار حائز اهمیت بوده که در ۲۶ درصد موارد بازدید بادسنج‌ها، دارای مشکلاتی نظیر عدم چرخش، سوراخ بودن، ثبت سرعت اشتباه، ارتفاع نامناسب و غیره می‌باشد. حدود ۹۴ درصد ایستگاه‌های تبخیرسنجی از نظر سنجش برف در شرایط مناسبی قرار دارند. این شرایط شامل اشل اندازه‌گیری، سکو برف و تراز بودن است.

ب) ایستگاه آبسنجی: از بین ۷۳ ایستگاه آبسنجی مورد بازدید، ۹۶٪ از ایستگاه‌ها فعال بوده و داده‌برداری از آنها انجام می‌شود. با توجه به تحت تاثیر بودن ایستگاه‌های هیدرومتری از نظر سیل‌خیزی و تخریب و رسوب‌گذاری در مقطع اندازه‌گیری

همواره مشکلات مرتبط با آن مشاهده می‌شود. از سوی دیگر سرقت تجهیزات نیز در سالیان اخیر در ایستگاه‌ها مشاهده شده که با کمبود اعتبار از سوی شرکت‌های آب منطقه‌ای سبب شده تا دوره‌های زمانی طولانی ثبت اطلاعات تنها از طریق اشل انجام گیرد (شکل ۱۹). یکی از مهمترین بخش‌های ایستگاه هیدرومتری اشل اندازه‌گیری و ارتباط آن با رودخانه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۸۷٪ ایستگاه بصورت مناسب از اشل بهره‌برداری می‌شود و اشل مشکلاتی نظیر زنگ‌زدگی، تکیه‌گاه نامناسب، مشکل رسوب و غیره را ندارند. در شکل (۱۸) تحلیل وضعیت ایستگاه‌های هیدرومتری از نظر بهره‌برداری ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین موارد در ایستگاه‌های هیدرومتری تطابق اشل و لیمنوگراف است. اشل توسط متصدی دوبار در روز قرائت می‌گردد ولی کاغذ ثبت اندازه‌گیری آبدهی در ایستگاه بصورت ماهانه توسط کارشناسان شرکت‌های آب منطقه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد که عدم تطابق این دو مورد خطا در اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها را به همراه دارد. تغییر مسیر جریان رودخانه و رسوب-گذاری یکی از مواردی است که همیشه در بسترهای طبیعی رودخانه وجود داشته و ایجاد یک مقطع کنترل و مکان‌یابی دقیق ایستگاه جهت حداقل این اثرات بسیار ضروری است. ۳۴ درصد ایستگاه‌های مورد بازدید ارتباط بین آبدهی ثبت شده با اشل و لیمنوگراف وجود ندارد (شکل ۲۰). مقطع کنترل در اکثر ایستگاه‌های هیدرومتری یا وجود نداشت و یا سال‌ها بود که تخریب شده است. سازه‌های اندازه‌گیری در ایستگاه‌ها که می-بایست بصورت مستمر و دقیق استفاده شود فاقد کیفیت و کالیبراسیون بود. براساس آمار ارائه شده از سوی مرکز کالیبراسیون موسسه تحقیقات آب که متولی واسنجی تجهیزات آبی است در سال‌های اخیر کمتر از ۱۵٪ تجهیزات جهت واسنجی فرستاده می‌شود.



شکل ۱۸- تحلیل وضعیت ایستگاه‌های هیدرومتری

شکل ۱۹- ایستگاه هیدرومتری سرقت شده

شکل ۲۰- لیمنوگراف رسوب گرفته شده

از بین ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای لیمنوگراف (درجه یک و دو)، ۳۱٪ لیمنوگراف مکانیکی، ۵۱٪ لیمنوگراف الکترونیکی و ۱۸٪ همزمان دارای هر دو نوع لیمنوگراف جهت اندازه‌گیری بودند. ۵۸٪ ایستگاه‌های آبسنجی انتقال داده را به‌صورت کاملاً دستی و ۴۲٪ به صورت الکترونیکی (خودکار و نیمه‌خودکار) در کنار روش دستی انتقال می‌دهند.

نتیجه‌گیری

سنجش و پایش منابع آب در کشور، بیش از نیم قرن در حال فعالیت بوده و با تغییرات مختلف ساختاری توانسته حجم زیادی از آمار و اطلاعات را سطح کشور در شرایط مختلف جمع‌آوری کند. اگرچه حجم بالای فعالیت این بخش از منابع آب کشور کمتر دیده می‌شود اما بررسی وضعیت کلان منابع آب نشان می‌دهد که این آمار و اطلاعات مبنای بسیاری از طرح‌های اجرایی و توسعه‌ای در کشور بوده و تصمیم‌گیری در خصوص بهره‌برداری انجام می‌شود. این مطالعه وضعیت شبکه سنجش آب و هواشناسی کشور که زیر نظر وزارت نیرو در حال فعالیت است را در سه بخش متولی، ارزیابی شبکه از نظر آماری و با بازدید میدانی مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به اینکه در کشور سنجش پارامترهای هواشناسی علاوه بر وزارت نیرو توسط سازمان هواشناسی نیز دیدبانی می‌شود بررسی سایر کشورهای جهان نیز نشان داد که این موضوع مشکلی در خصوص برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری نداشته و در کشورهای پیشرفته نیز این موضوع وجود دارد. لذا ایجاد یک چارچوب جهت استفاده دو مجموعه بدون موازی کاری می‌تواند با کمترین هزینه بیشترین بهره‌برداری را در پی داشته باشد. بررسی آماری شبکه سنجش آب و هواشناسی نشان می‌دهد که طول دوره‌ی آماری درازمدت در شبکه هواشناسی و آب سنجی در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰ سال است که این موضوع جهت تعیین مقادیر آب و هواشناسی در دوره‌های درازمدت جهت کاهش عدم قطعیت مقادیر تخمینی بسیار کارآمد است. بررسی تراکم شبکه آب و هواشناسی نشان می‌دهد در سنجش پارامتر بارش که مهمترین پارامتر چرخه هیدرولوژی است در ارتفاعات مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی کشور با کمبود ایستگاه مواجه هستیم. این موضوع جهت اندازه‌گیری بارش در ارتفاعات بسیار مهم بوده و با توجه به خصوصیات این مناطق در بارش‌های کوتاه‌مدت با شدت بالا بسیار مهم است. همچنین بررسی تجهیزات شبکه هواشناسی با توجه به محدود بودن ایستگاه‌ها دارای دقت نسبتاً مناسبی بوده و تعداد تجهیزات الکترونیکی در حال افزایش است. اگرچه رشد تکنولوژی می‌تواند سرعت و دقت را در اندازه‌گیری شبکه آب و هواشناسی افزایش دهد اما لزوم ایجاد زیرساخت و تربیت نیروی متخصص در این زمینه حائز اهمیت است. شبکه هیدرومتری کشور نسبت به شبکه هواشناسی آسیب‌پذیری بالاتری داشته و عدم داشتن محدوده‌ی حفاظتی، حریم قابل تعریف، سیلاب و رسوب‌گذاری همیشه در معرض تهدید و تخریب قرار دارد. این مشکلات در کنار سرقت تجهیزات باعث شده تا اعتبار داده‌های شبکه آب سطحی کاهش یابد.

با توجه به اهمیت و ضرورت شبکه مناسب اندازه‌گیری پارامترهای آب و هواشناسی نتایج این مطالعه نشان داد که شبکه فعلی فاقد زیرساخت‌های ارتباطی مناسبی جهت بهنگام کردن داده‌ها بوده و عدم توجه سطح بالای مدیران آبی و غیرآبی در کشور باعث شده تا بخش پویا منابع آب کشور از چرخه کنار برود. این کاهش اهمیت دادن اگرچه در کوتاه مدت باعث کاهش هزینه‌های جاری می‌گردد اما نگاهی به نسبت سود به هزینه مطالعات پایه منابع آب در سطح دنیا نشان می‌دهد که آسیب‌های سنگینی بر پیکره آبی کشور خواهد داشت. لزوم برنامه-ریزی جهت تدوین یک چارچوب مدیریتی به‌منظور افزایش کارایی شبکه سنجش منابع آب بسیار ضروری است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

WMO, Guide to Hydrological Practices. Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, vol. No. 168. WMO, 2008.

WMO-UNESCO, Water resources assessment; Handbook for Review of National Capabilities. 1997.

http://www.moe.gov.ir/

http://www.wrm.ir