

ال نینوی بسیار قوی ۱۶-۲۰۱۵ و سیلاب های سال آبی جاری ایران

اشاره

مدیریت کارآی منابع آب و انرژی، کاهش اثرات بلایای طبیعی (سیلاب و خشکسالی) و تطبیق با تغییر هیدروسیستم ها به خصوص تغییر اقلیم، از مهم ترین چالش های بشر در قرن بیست و یکم محسوب می شود. از سوی دیگر، عدم قطعیت ها، مدیریت این چالش ها را با صعوبت بیشتری مواجه می کند. در این چارچوب در سال های اخیر "مدیریت تطبیقی منابع آب برای مدیریت اثربخش و کارآی منابع آب" مطرح شده که راهبردهای آن در ادامه ارائه خواهد شد. از مهم ترین این راهبردها پیش بینی های کوتاه مدت و درازمدت منابع آب است.

اولین پیش بینی هیدرولوژیکی در دنیای مدرن در سال ۱۸۵۴ با پیش بینی سیل رودخانه سن در پاریس از ۳ روز قبل با استفاده از تلگراف تحقق یافت. از آن زمان به بعد پیش بینی های هیدرولوژیکی و هواشناسی پیشرفت های زیادی داشته اند، ولی پیش بینی های فصلی بارش قابل اتکا تنها در اواخر قرن بیستم میلادی ممکن گردید. برای اولین بار در تاریخ بشر، دانشمندان در تابستان ۱۹۹۷، با استفاده از پیش بینی های اقلیمی از شش ماه قبل سیلاب های بزرگی را در کالیفرنیا و فلوریدا به درستی پیش بینی نمودند. این رویداد با توجه به پیش بینی وقوع ال نینو در پاییز و زمستان بعد، امکان پذیر شد.

تاکنون رابطه سیگنال های هواشناسی متعددی با پارامترهای اقلیمی بارش، دما و فشار در سطح زمین برای نیم کره شمالی و جنوبی بررسی شده است. از جمله مهم ترین سیگنال های هواشناسی شناخته شده، پدیده های



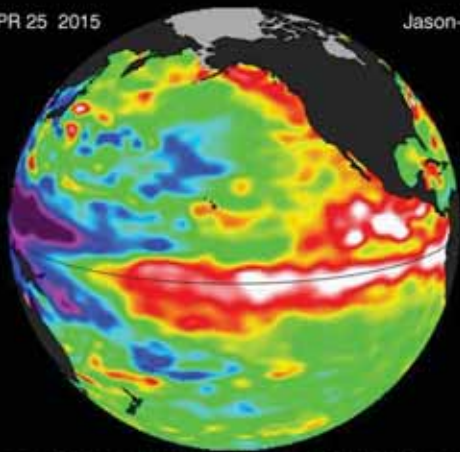
دکتر کامران امامی

مهندس مشاور کزیت کار آ



مهندس سعید پور شهیدی

مهندس مشاور کزیت کار آ



حوضه‌های کشور بارش در آبان ماه ۲ تا ۴ برابر متوسط درازمدت گزارش شده و بدون شک این پیش‌بینی‌ها در کاهش تلفات و خسارات سیلاب‌های پاییز مناطق مختلف کشور نقش مهمی داشته‌اند. برای زمستان حوضه‌های مورد مطالعه بارش زیر نرمال پیش‌بینی شد و این پیش‌بینی‌ها، هم با بارش مشاهده‌ای تطبیق نزدیکی داشت و هم با شرایط کلی کشور. بارش‌های شدید و سیلاب‌های کشور در بهار ۱۳۹۵ نیز حاکی از اثر قابل ملاحظه نوسانات جنوبی ال‌نینو قوی در بارش‌های حوضه‌های مختلف کشور به خصوص حوضه‌های جنوب غرب هستند. امید است با استفاده از این تجارب موفق برنامه‌ریزی برای انجام تحقیقات و مطالعات لازم در این زمینه در دستور کار قرار گیرد.

مدیریت تطبیقی در مدیریت منابع آب

مطالعه تحولات در مدیریت منابع آب در سه دهه نشان می‌دهد که به مرور اهمیت روش‌های غیرسازه‌ای در مقایسه با روش‌های سازه‌ای افزایش یافته است. در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ روش‌های غیرسازه‌ای محور اصلی مدیریت منابع آب محسوب می‌شدند و روش‌های غیرسازه‌ای به عنوان مکمل‌های کم‌هزینه مطرح بودند. ولی به دنبال پیشرفت‌های چشمگیر فناوری مرتبط، در اوایل قرن بیست و یکم، بیشتر کارشناسان مدیریت منابع آب بر روش‌های غیرسازه‌ای به عنوان محور اصلی تأکید دارند و روش‌های سازه‌ای به عنوان مکمل مطرح هستند.

نوسانات اطللس شمالی و نوسانات جنوبی است. براساس تحقیقات انجام شده، تغییر الگوی بارش و دما در بسیاری از مناطق جهان به دلیل نوسانات این سیگنال‌های هواشناسی یا همان شاخص‌های اقلیمی به اثبات رسیده است، لیکن در ایران، هنوز علم مطالعات این پدیده‌ها بسیار نو پا بوده و نیاز به مطالعات وسیعی در مورد اثرات آن‌ها بر الگوی بارش وجود دارد.

در سال ۱۳۷۸ برای آبیگری زود هنگام سد کرخه، از پیش‌بینی اقلیمی مبتنی بر نوسانات جنوبی ال‌نینو با موفقیت استفاده شد و در آبان ۱۳۸۶ با استفاده از همان متدولوژی به تمامی سازمان‌های آب کشور در مورد ریسک بارش‌های زیر نرمال در زمستان و بهار بعد هشدار داده شد که این هشدار با واقعیت تطبیق خوبی داشت (سال ۸۷-۱۳۸۶ از سال‌های بسیار خشک کشور محسوب می‌شود). از اوایل مردادماه ۹۴ با توجه پیش‌بینی وقوع ال‌نینو قوی (در حد قوی‌ترین ال‌نینو مشاهده شده در ۱۰۰ سال گذشته) در پاییز و زمستان ۱۳۹۴، طی مطالعاتی و براساس مدل‌های مختلط اقلیمی - هواشناسی - هیدرولوژیکی و با در نظر گرفتن داده‌های تاریخی در دو دهه اخیر، پیش‌بینی بارش پاییز برای ۶ حوضه آبریز درجه ۲ در کشور انجام و ارائه شد. این حوضه‌ها عبارت بودند از "مرزی غرب"، "کرخه"، "مند"، "بلوچستان"، "اترک" و "دریاچه ارومیه". براساس این پیش‌بینی‌ها در اوایل مهرماه ۱۳۹۴، وزارت نیرو طی نامه‌ای به وزارت کشور در مورد سیلاب‌های آبان و آذر هشدار داد. در عمل نیز در اکثر

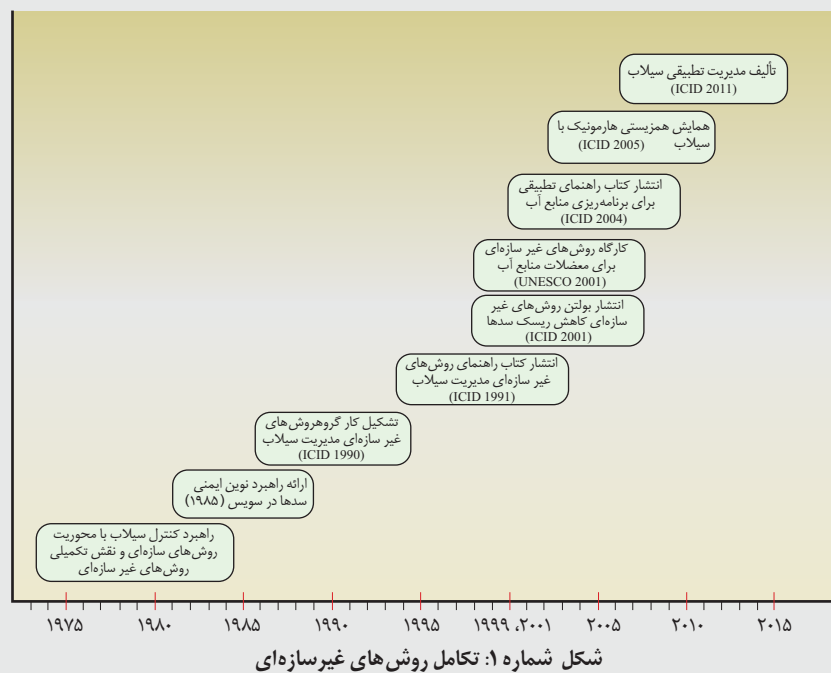
تا سال ۱۹۲۷ سیاست رسته مهندسی ارتش آمریکا برای کنترل سیلاب "فقط سیل‌بند" بود. پس از سیلاب بزرگ ۱۹۲۷ استفاده از سدها نیز در دستور کار قرار گرفت. در دهه ۱۹۶۰ در دیدگاه حاکم بر کنترل سیلاب، محوریت با روش‌های سازه‌ای بود و روش‌های غیرسازه‌ای به‌عنوان مکمل‌های کم‌هزینه سازه‌ها مطرح می‌گردیدند. در نیم قرن اخیر براساس تجارب جهانی، این دیدگاه دچار تغییرات شدیدی شده است:

■ ارائه فلسفه جدید ایمنی سدها در سوییس (۱۹۸۵)

■ ارائه کتاب راهنمای روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب توسط کمیته بین‌المللی آبیاری زهکشی (۱۹۹۹)

- ارائه بولتن کاهش ریسک سدها به‌وسیله روش‌های غیرسازه‌ای توسط کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (۲۰۰۱)
- برگزاری سمپوزیوم روش‌های غیرسازه‌ای برای معضلات آب توسط یونسکو (۲۰۰۱)
- ارائه کتاب راهنمای مدیریت تطبیقی برای برنامه‌ریزی منابع آب توسط رسته مهندسی ارتش آمریکا (۲۰۰۴).

در شکل‌های شماره (۱) و (۲) تکامل روش‌های غیرسازه‌ای و منافع آن‌ها نشان داده شده است.



انجام گردید و در اجلاس سال ۲۰۱۵ کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی در تایلند ارائه شد، تنها با اصلاح منحنی‌های فرمان سدهای بالادست، مدیریت سیلاب‌های بزرگی مانند سیلاب ۲۰۱۱ امکان‌پذیر خواهد بود.

به‌عنوان مصداق دیگر می‌توان به تونل دو منظوره "اسمارت"^(۱) در مالزی اشاره نمود. از زمان افتتاح در سال ۲۰۰۷ با کمک سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب، از این تونل با موفقیت هم برای انحراف سیلاب و هم برای حمل و نقل استفاده شده است. عملکرد این سامانه در یک سیلاب بزرگ با دوره بازگشت ۱۰۰ سال (۲۵۰ میلی‌متر بارش

با توجه به موارد فوق می‌توان یک سامانه آبی را مطابق شکل شماره (۵) متشکل از سازه‌های (سخت‌افزار)، نرم‌افزار (سامانه‌های پایش و...) و مغزافزار دانست. براساس تجارب جهانی و با توجه به توسعه‌های شگفت‌انگیز انقلاب اطلاعاتی و جهش‌های منابع انسانی، بخش نرم‌افزاری و مغزافزاری می‌تواند تطبیق‌پذیری این سامانه‌ها را به نحو چشم‌گیری افزایش دهد. در نتیجه هم‌زمان می‌توان ضمن ارتقای ایمنی و پایداری سامانه‌های آبی، تطبیق‌پذیری آن‌ها را با شرایط محیطی (محیط‌زیست، جامعه و...) و عدم قطعیت‌ها افزایش داده و در عین حال در بسیاری از موارد کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های



شکل شماره ۳: مدیریت کارآتر سدهای بالادست می‌توانست، خسارات سیلاب ۲۰۱۱ بانکوک به نحو چشمگیری کاهش دهد.



شکل شماره ۴: آب‌گرفتگی فرودگاه بانکوک در سیلاب اکتبر ۲۰۱۱

در ۵ ساعت!) بدون نقص گزارش شده است. مفهوم «مدیریت تطبیقی» با توجه به پتانسیل بالا در مقابله با تهدیدها و چالش‌های غیرقابل پیش‌بینی بسیار مورد توجه قرار گرفته

سازه‌ای امکان‌پذیر خواهد بود. به‌عنوان یک مصداق بارز می‌توان به سیلاب بزرگ تایلند اشاره نمود. در پاییز ۲۰۱۱ سیلاب بزرگی شهر بانکوک را برای چندین روز دچار آب‌گرفتگی گسترده نمود و خسارات عظیمی را موجب گردید. براساس مطالعاتی که به دنبال این سیلاب

یک نسل قبل و راه‌های تکامل این مهارت‌ها به‌طور خلاصه ارائه شده است.

عناصر طراحی	عناصر سنتی	طراحی تطبیقی
مقیاس	پروژه	سیستم پروژه‌ها
هدف	تک منظوره	چند منظوره گاهی با اهداف متضاد
ابزار	سازه‌ای	غیر سازه‌ای
تمرکز	ساخت و ساز	مدیریت درازمدت
شناسایی ریسک	کم	گسترده

جدول شماره (۱): تکامل روندهای طراحی پروژه‌های آبی در نخستین دهه قرن ۲۱ میلادی

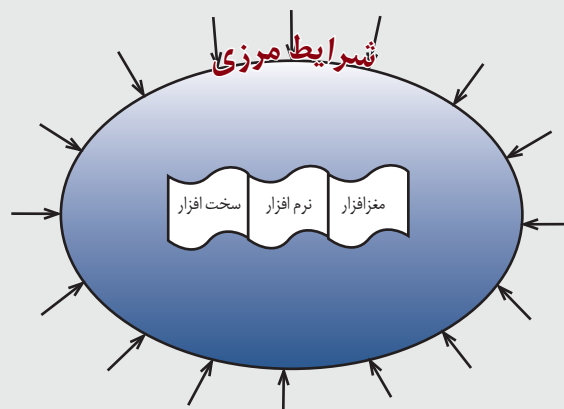
مفاهیم و مهارت‌های مدیریت تطبیقی ابداع، تفکر در زمان حال برای رفع تقاضاهای متضاد و تطابق با تمایلات و اولویت‌های اجتماعی را ارائه می‌دهد. مدیریت تطبیقی مجموعه‌ای از مهارت‌های مفید و همراه با جزئیات علمی و یادگیری (به‌طور مثال گسترش مدل‌های متناوب اکولوژیکی و مهندسی، جستجوی سناریوهای شرکا) و پروسه اجرایی (مانند ملاقات با ذی‌ربطان) را شامل می‌شود. تمرکز اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی در کمک برای مشارکت در تحقیقات علمی با تصمیمات مدیریتی و مباحثه و آموزشی ذی‌ربطان امری بسیار مهم است.

محورهای اصلی مدیریت تطبیقی منابع آب عبارتند از:

- پذیرش عدم قطعیت‌های جدی در پارامترهای کلیدی پروژه‌های منابع آب
- لزوم تطبیق‌پذیری با تغییرات و تبدیل تهدیدها به فرصت‌ها
- نهادینه‌شدن انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری
- پایش دقیق، فراگیر و ارزیابی پیوسته
- یادگیری و اصلاح پیوسته
- استفاده از دانش جدید
- اجتناب از اشتباهات غیرقابل اصلاح
- عدم تکیه بر دیدگاه نیوتونی (قطعیت)
- تطبیق و همزیستی با محیط‌زیست
- تاب‌آوری سازه‌ای
- افزایش قابلیت انجام واکنش به موقع
- به‌روز کردن اهداف.

پیش‌بینی‌های اقلیمی

امروزه پیش‌آگاهی، نقشی کلیدی در موفقیت بسیاری از پروژه‌ها دارد. برای مثال، پروژه‌های عظیم و چند میلیارد دلاری دلتای هلند



شکل شماره ۵: سامانه‌های آبی

است. مدیریت تطبیقی، انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها را افزایش می‌دهد، تصمیماتی که مقابله با عدم قطعیت‌ها در فعالیت‌های مدیریتی را موجب شوند. مدیریت تطبیقی یک روش آزمون و خطا نیست، اما بر "آموزش و یادگیری حین اجرا" تأکید می‌کند. برای این مدیریت نهایت و سرانجامی وجود ندارد و وسیله‌ای برای تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر و استحصال بیشترین منافع در طول زمان است. روش مناسب در به‌کارگیری مدیریت تطبیقی این است که بدانیم چگونه می‌توان در جهت بهبود شرایط زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی همچنین افزایش علم و دانش و کاهش تنش در میان ذی‌ربطان از آن استفاده بهینه به عمل آوریم.

این روش به‌عنوان راهی برای مقابله با عدم قطعیت و به‌منظور کاهش آن همچنین برای مدیریت استراتژیکی که توانایی مواجهه با عدم قطعیت را داشته باشد ارائه گردید. دیدگاه‌ها و تعاریف مختلفی درباره مدیریت تطبیقی وجود دارد اما عناصری که برای آن در تئوری و عمل تعریف شده‌اند عبارتند از:

- مدیریت اهداف که به‌طور مرتب ویرایش و بازبینی می‌شود
 - مدل یا مدل‌هایی از یک سیستم که مدیریت می‌شوند
 - مجموعه‌ای از اختیارات و انتخابات مدیریتی
 - پایش و ارزیابی نتایج فعالیت‌های مدیریتی
 - مکانیزمی جهت دخالت آموزه‌ها در تصمیم‌گیری‌های آینده و ساختاری برای مشارکت و یادگیری ذی‌ربطان.
- مهارت‌های طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های بزرگ و پیچیده مهندسی، از راه‌ها و روش‌های بنیادی تکامل یافته‌اند. اما قواعد سنتی در کسب مهارت غالباً در زمان حال و با توجه به دانش امروزی ناکافی اند. در دوره‌های طولانی، تکامل از سادگی به پیچیدگی است. بیشتر سرمایه‌گذاری‌های عمده عمرانی به‌طور سنتی طراحی شده‌اند و به‌صورت سرمایه‌گذاری‌های منفرد برای یک هدف خاص و مجزا، براساس پیش‌بینی جداگانه از حوادث آینده و با تمرکز روی ساخت انجام گرفته‌اند. در جدول شماره ۱ مهارت‌های استاندارد شده برای



و موسی ونیز، از بزرگ‌ترین پروژه‌های سیلاب در دنیا محسوب می‌شوند و موفقیت هر دو پروژه به صورت کامل وابسته به دقت مدل‌های پیش‌بینی است. با وجود پیشرفت‌های چشمگیر مدل‌های پیش‌بینی در قرن بیستم، پیش‌بینی‌های فصلی بارش قابل اتکا تنها در اواخر قرن بیستم میلادی ممکن گردید. برای اولین بار در تاریخ بشر، دانشمندان در تابستان ۱۹۹۷، با استفاده از پیش‌بینی‌های اقلیمی از شش ماه قبل سیلاب‌های بزرگی را در کالیفرنیا و فلوریدا به درستی پیش‌بینی نمودند. در عمل بیشترین بارندگی مشاهده‌ای در طول دوره آماری (۱۲۰ سال) به وقوع پیوست و پیش‌بینی فوق و اقدامات پیشگیرانه موجب کاهش زیان‌ها و خسارات به میزان چند میلیارد دلار گردید.

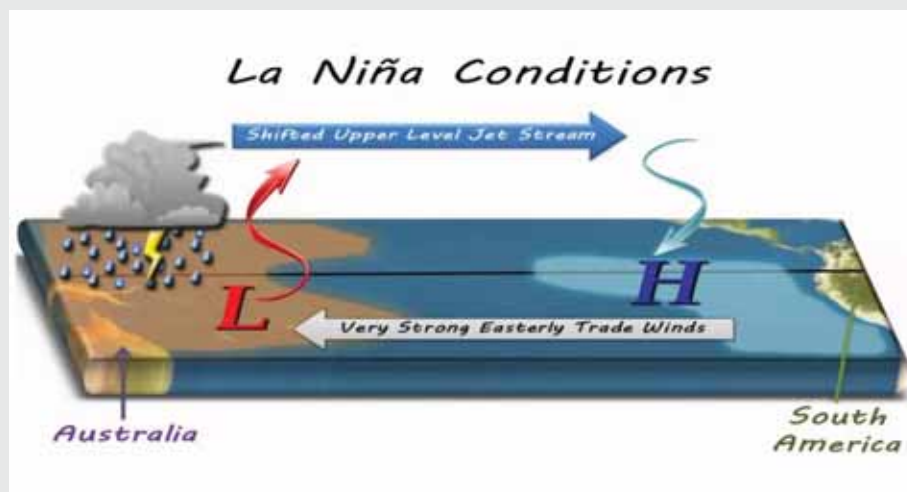
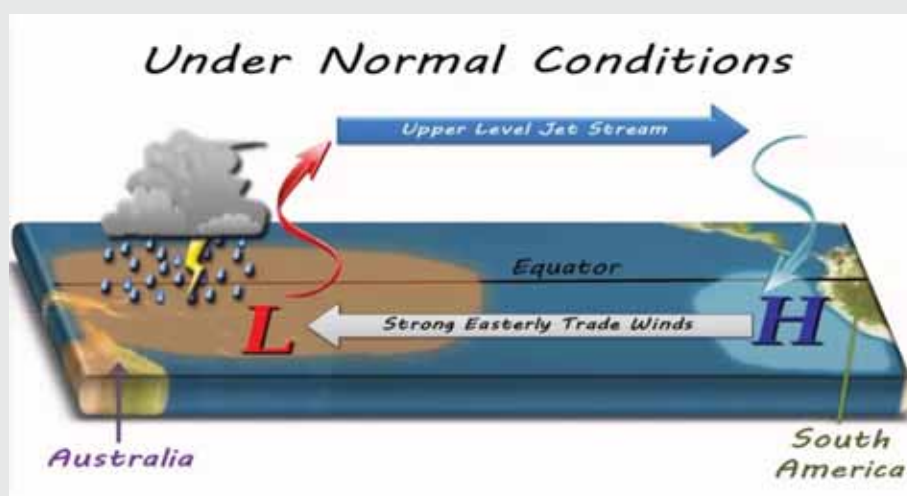
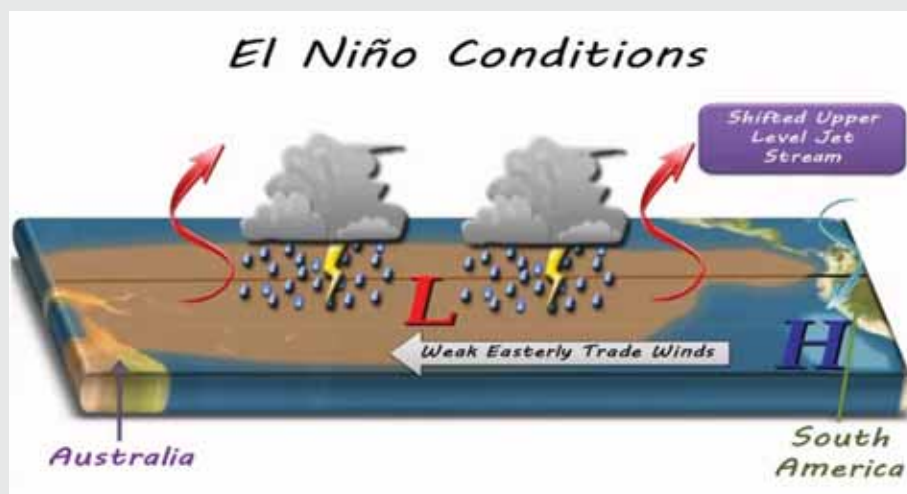
خشکسالی و سیلاب محسوب می‌شود و در این چارچوب حضرت نوح و حضرت یوسف را می‌توان از پیشگامان مدیریت ریسک سیلاب و خشکسالی به شمار آورد. تا سال‌های پایانی قرن بیستم، ماهیت کاملاً تصادفی برای تغییرات سال به سال اقلیم فرض

و در نتیجه پیش‌بینی‌های درازمدت هواشناسی و هیدرولوژیکی فاقد دقت لازم بودند. بر اساس تحقیقات و مطالعات گسترده‌ای که در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ توسط دانشمندان کشورهای مختلف در مورد اندرکنش جو (آتمسفر) و اقیانوس آرام به انجام رسید، اقلیم جهانی کاملاً تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی نیست. بدون شک درصدی از فرایندهای اقلیمی به عوامل تصادفی وابسته است، اما نظم خاصی بر سیستم‌های آب و هوایی حاکم بوده که باید مورد شناسایی قرار گیرد. مهم‌ترین عامل نظم‌دهنده به اقلیم که تاکنون شناخته شده است، نوسانات جنوبی "ال نینو" نامیده می‌شود که شامل پدیده‌های "ال نینو" و "لانینیا" در اقیانوس آرام بوده و پایه اصلی مدل‌های اقلیمی را تشکیل می‌دهد. بدیهی است ایجاد مدل‌های پیش‌بینی درازمدت اقلیم حتی در صورتی که کاملاً دقیق نباشند نیز منافع بسیار چشمگیری برای جامعه انسانی به ارمغان می‌آورد که مهم‌ترین چالش‌هایش در قرن ۲۱، بحران آب، توسعه پایدار و مدیریت سیلاب است.

"El Nino" واژه‌ای است که برای یک پدیده اقیانوسی استفاده می‌شود و گرم‌شدگی گسترده‌ای است که در سطح بالای آب در اقیانوس آرام حاره‌ای شرقی رخ می‌دهد و سه فصل یا بیشتر طول می‌کشد. پدیده ال نینو با تغییر در فشار آتمسفری که به نام نوسانات جنوبی (SO) شناخته می‌شود ارتباط داشته و پژوهشگران نشان داده‌اند که وقوع پدیده ال نینو با گرم‌شدن و افت فشار هوا در ناحیه شرقی اقیانوس آرام همراه است. در این شرایط، فشار هوا در سواحل شرقی استرالیا افزایش یافته و دمای سطح آب این ناحیه نیز نسبت به میانگین درازمدت

کاهش می‌یابد. به دلیل ارتباط بسیار نزدیک بین SO و ال نینو، آن‌ها را مجموعاً به عنوان "ال نینو-نوسانات جنوبی" (۱) یا ENSO می‌خوانند. "ال نینو-نوسانات جنوبی" (ENSO) یک چرخش دوگانه آتمسفر اقیانوسی است که در اقیانوس آرام حاره‌ای به طور تقریبی در فاصله ۲ تا ۷ سال اتفاق می‌افتد. براساس مطالعات انجام گرفته پدیده "ال نینو-نوسانات جنوبی" اثرات گسترده‌ای بر اقلیم نقاط مختلف جهان داشته است.

ENSO یک پدیده مستمر و دینامیک است که در هر فاز آن تمایل به تغییر وضعیت و رسیدن به فاز مخالف مشاهده می‌گردد. حاکم شدن شرایط ال نینو به معنای استقرار یک وضعیت خاص و پایدار آب و هوایی در مدت زمان طولانی نیست، زیرا در همین شرایط، تغییرات دمای سطح آب و فشار هوا به گونه‌ای است که آب و هوا را به سوی شرایط "لانینیا" (۲) سوق می‌دهد. البته دوران لانینیا هم برای همیشه دوام ندارد و با تضعیف لانینیا، ال نینو شروع می‌شود. به دلیل این که فاز سرد (لانینیا) کمتر مشخص بوده و کمتر باعث فاجعه‌هایی نسبت به فاز گرم یا ال نینو می‌گردد، توجه کمتری به آن شده است. شکل شماره (۶) چرخه عمومی آتمسفر در اقیانوس آرام در حالت‌های ال نینو و لانینیا و همچنین نرمال را نشان می‌دهد. البته آثار پدیده‌های ENSO در حد فاصل آمریکای لاتین و استرالیا بهتر از سایر نقاط دنیا قابل مشاهده و درک است.



شکل شماره ۶: چرخه عمومی اتمسفر در اقیانوس آرام در حالت‌های ال نینو، نرمال و لانینیا

نکته مهم این است که ۵ سال قبل از ارائه کتاب "راهنمای مدیریت تطبیقی برای برنامه‌ریزی منابع آب" توسط رشته مهندسی ارتش آمریکا، اصول مدیریت تطبیقی با موفقیت در اولین آبیگری این سد به کار

آبیگری زود هنگام سد کرخه

آبیگری زود هنگام سد کرخه در بهمن ماه ۱۳۷۸ نمونه بارزی از منافع مدیریت تطبیقی منابع آب در مهندسی سد محسوب می‌شود.

گرفته شد. این سد با حجم مخزن ۵/۵ میلیارد مترمکعب، بزرگ‌ترین سد ایران از نقطه نظر حجم بدنه سد و حجم مخزن به شمار می‌آید. به علت پیچیدگی شرایط لازم برای انسداد نهایی کالورت‌ها و اصرار کارفرما برای آگیری زودهنگام به منظور استحصال هر چه سریع‌تر منافع پروژه، شروع آگیری این سد در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ با مشکلات مهمی مواجه بود. در این زمینه با توجه به محدودیت‌های موجود، استفاده از روش‌های غیرسازه‌ای از جمله پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی ضروری تشخیص داده شد و مطالعات لازم از بهمن‌ماه ۱۳۷۷ آغاز گردید [۱].

قرار گرفت (۲ سال پس از اولین پیش‌بینی موفقیت‌آمیز سیلاب‌های کالیفرنیا توسط دانشمندان آمریکایی). به منظور بررسی ایمنی خاکریز در آبان و آذر ۱۳۷۸، پیش‌بینی آورد رودخانه و پتانسیل سیلاب در این ماه‌ها می‌توانست نقش بسیار مهمی را ایفا نماید. در این راستا و به منظور پیش‌بینی آورد رودخانه کرخه در آبان و آذر ۱۳۷۸ انجام موارد زیر در دستور کار قرار گرفت:

۱. مطالعه همبستگی آورد رودخانه کرخه با ENSO
۲. بررسی نتایج مدل‌های پیش‌بینی SST برای پاییز و زمستان ۱۳۷۸
۳. ایجاد مدل شبکه عصبی براساس پارامترهای ENSO



شکل شماره ۷: سد کرخه

این مطالعات از قسمت‌های مختلفی به شرح زیر تشکیل گردیده بود:

پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی

در این راستا مدل شبکه عصبی مصنوعی براساس آمار ماهانه بارندگی و آورد رودخانه ایجاد گردید. مشابه دیگر مدل‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌های ایران، نتایج این مدل از اواخر بهمن‌ماه قابل اتکاست.

خصوصیات فصلی

استفاده از خصوصیات فصلی رودخانه کرخه نقش بسیار مهمی در عملی شدن اولین آگیری سد کرخه در زمستان ۱۳۷۸ ایفا نمود.

پیش‌بینی‌های اقلیمی

با توجه به تراز سد در حال احداث و در سرویس نبودن سرریز در پاییز ۱۳۷۸، پیش‌بینی آورد رودخانه در پاییز ۱۳۷۸ در رابطه با ایمنی سد مورد نیاز بود. در این راستا همان‌طور که قبلاً اشاره شد، پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی قبل از اسفندماه فاقد کارایی لازم بودند و ناچار استفاده از پیش‌بینی‌های اقلیمی به‌وسیله ENSO در دستور کار

۴. بررسی نتایج مدل‌های دینامیکی.

مطالعه همبستگی آورد رودخانه کرخه با ENSO

با وجودی که مطالعات آگیری سد کرخه کمتر از ۲ سال بعد از پیش‌بینی سیلاب‌های کالیفرنیا (۱۹۹۸) انجام شد، از این روش برای پیش‌بینی بلندمدت آورد رودخانه کرخه استفاده شد. محور اصلی پیش‌بینی‌های اقلیمی، دمای سطح اقیانوس آرام (SST) است. به‌طور کلی آورد رودخانه کرخه همبستگی بسیار خوبی با ENSO به‌خصوص در حالتی که پدیده ال‌نینو یا لانیینا قوی باشد، نشان می‌دهد (جدول شماره ۲).

نتایج مدل شبکه عصبی پیش‌بینی آورد کرخه براساس پارامترهای ENSO

در سال‌های اخیر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به‌عنوان یکی از کارآترین روش‌ها برای بررسی پدیده‌های پیچیده طبیعی شناخته شده‌اند. به منظور پیش‌بینی آورد رودخانه کرخه در آبان و آذر ۱۳۷۸ یک مدل شبکه عصبی با استفاده از پارامترهای ENSO

پدیده حاکم	تعداد سال ها	آورد متوسط رودخانه کرخه در آبان و آذر
ال نینوی قوی	۷	در ۷ سال آورد بالای متوسط در آبان یا آذر یا هر دو
لانیای قوی	۶	در ۶ سال آورد زیر متوسط در آبان و آذر
ال نینوی ضعیف	۱۰	در ۸ سال آورد بالای متوسط در آبان یا آذر یا هر دو
لانیای ضعیف	۷	در ۵ سال آورد زیر متوسط در آبان و آذر

جدول شماره ۲- همبستگی آورد رودخانه کرخه در آبان و آذر با پدیده های ال نینو و لانیای در دوره آماری ۴۵ ساله

و مطالعات انجام شده، نامه ای به تمام شرکت های آب منطقه ای و دیگر سازمان های ذی نفع ارسال و در خصوص احتمال وقوع خشکسالی در زمستان و بهار پیش رو هشدار داده شد. متأسفانه به این هشدار توجه لازم صورت نگرفت و اقدامات لازم برای مدیریت خشکسالی تنها از اواخر اسفند ۱۳۸۶ آغاز شد. در این میان با توجه به وقوع سرمای شدید در بهمن ماه ۱۳۸۶ و نیاز برای تولید برق، احجام قابل ملاحظه ای از حجم ذخیره های سدهای بزرگ کشور تخلیه شدند که این امر با توجه به کم آبی شدید اواخر زمستان ۱۳۸۶ و بهار ۱۳۸۷، معضلات عظیمی را در بهار و تابستان ۱۳۸۷ موجب گردید.

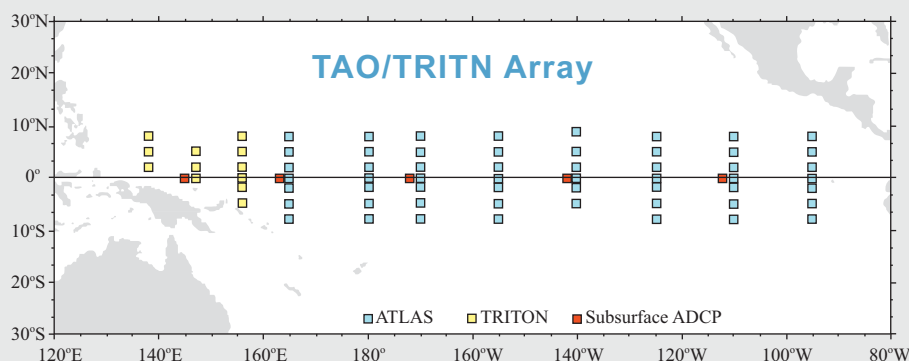
ال نینوی بسیار قوی ۲۰۱۵-۲۰۱۶

از خردادماه سال ۱۳۹۴ (ژوئن ۲۰۱۵)، مدل های جهانی وقوع پدیده ال نینو در پاییز و زمستان ۱۳۹۴ (۲۰۱۵-۲۰۱۶) را پیش بینی کردند. همچنین براساس نتایج اعلام شده در ابتدای پاییز ۱۳۹۴، از اواخر ماه سپتامبر تا اوایل اکتبر سال ۲۰۱۵، SST استوایی اقیانوس آرام در سطح ال نینو قوی بوده است. تمام متغیرهای جوی، از جمله وزش بادهای

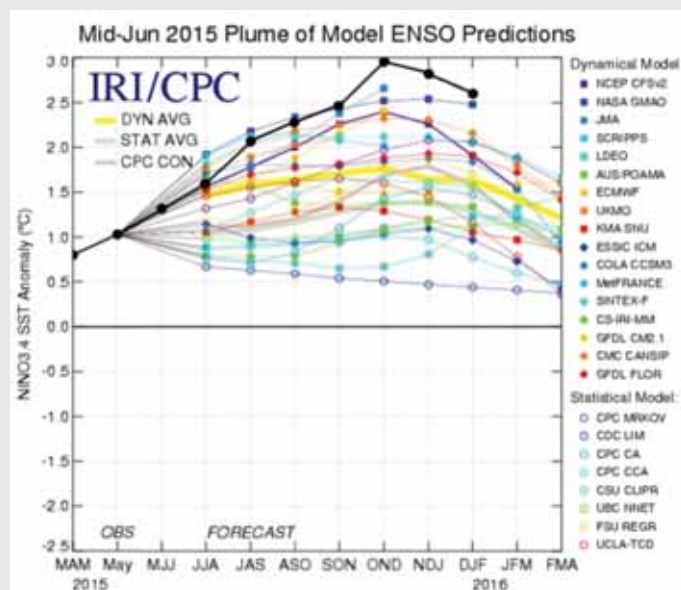
ایجاد گردید. تعداد لایه های پنهان و گره های لازم برای مدل بهینه با سعی و خطا به دست آمدند و آزمایش های متعددی برای بررسی کارایی مدل در پیش بینی آوردهای مشاهده ای صورت گرفت. با استفاده از پیش بینی هایی که از SST به وسیله مدل های مختلف انجام گرفته بود، نتایج مدل شبکه عصبی آموزش دیده برای گستره نسبتاً وسیعی از شرایط محتمل در پاییز ۱۳۷۸ به وضوح نشان دهنده آورد کمتر از میانگین در پاییز ۱۳۷۸ بود و از این رو با اطمینان پیش بینی گردید که سیلاب های نادر بزرگ تر از ۱۰۰ سال در پاییز ۱۳۷۸ محتمل نیستند. با استفاده از این نتایج و با تکیه بر خصوصیات فصلی سیلاب رودخانه کرخه و نتایج مدل های پیش بینی هیدرولوژیکی آبیگری زود هنگام سد کرخه در بهمن ماه ۱۳۷۸ انجام گردید و در نتیجه ۴۰۰ میلیون متر مکعب آب در سال بسیار خشک در مخزن ذخیره شد و اثرات خشکسالی بهار ۱۳۷۹ به نحو چشمگیری کاهش یافت.

هشدار بارش کمتر از متوسط در پاییز ۱۳۸۶

براساس پایش های صورت گرفته در پاییز ۱۳۸۶، پدیده لانیای قوی در اقیانوس آرام حاکم و پیش بینی شده بود و براساس تحقیقات



شکل شماره (۹): محل قرارگیری بویه های اندازه گیری در اقیانوس آرام



شکل شماره (۱۰): نمودار پیش بینی دمای سطح اقیانوس و مقادیر مشاهده‌ای آن

بوده است. در شکل شماره ۱۱، نمودار تغییرات شاخص (ONI) یک پارامتر عمده برای مشاهده و دستیابی و پیش‌بینی‌های (ENSO) از سال ۱۹۵۰ را نمایش می‌دهد.

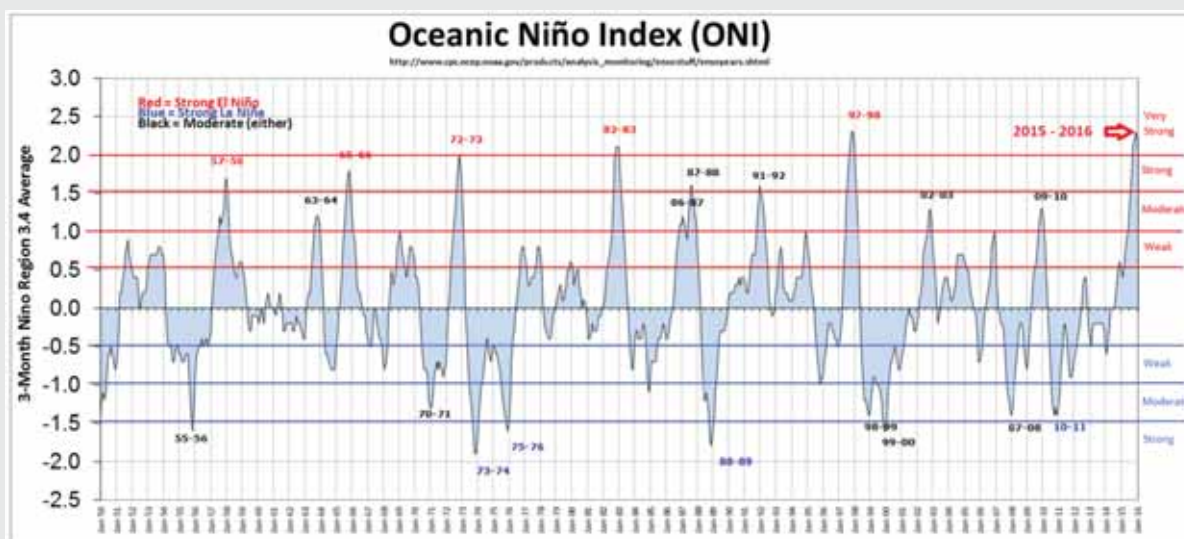
اطلاع‌رسانی درباره وقوع پدیده ال نینو

از بهار ۱۳۹۴، براساس نتایج مدل‌ها، وقوع ال نینو در پاییز و زمستان این سال پیش‌بینی گردیده بود، نتیجه با توجه به تجارب حاصله از تحقیقات و مطالعات قبلی در خردادماه و مردادماه ۱۳۹۴، در خصوص وقوع این پدیده در اقیانوس آرام و تأثیرات احتمالی آن بر بارش کشور به مقامات عالی وزارت نیرو و سازمان‌های ذی‌ربط اطلاع‌رسانی انجام گرفت.

ضعیف و بارش مازاد در شرق خط استوا در اقیانوس آرام از الگوی ال نینو تبعیت می‌کردند. اجماع مدل‌های پیش‌بینی ENSO، ادامه شرایط ال نینوی قوی در طول سپتامبر تا نوامبر ۲۰۱۵ را نشان می‌داد و تقویت آن در پاییز را امکان‌پذیر نشان می‌داد. این نتایج اعلام می‌داشت این رویداد تا بهار سال ۱۳۹۵ ادامه خواهد داشت.

شکل شماره ۱۰، نمودار پیش‌بینی دمای سطح اقیانوس یا SST (خطوط رنگی) در ماه ژوئن ۲۰۱۵ و دمای اندازه‌گیری شده (خط مشکی) از ژوئن ۲۰۱۵ تا فوریه ۲۰۱۶ در منطقه Nino 3.4 در اقیانوس آرام را نشان می‌دهد.

براساس نتایج پایش شده تا انتهای فوریه ۲۰۱۶، ال نینوی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ در ردیف سه ال نینوی بسیار قوی به وقوع پیوسته از سال ۱۹۵۰



شکل شماره ۱۱ - نمودار تغییرات شاخص ONI از سال ۱۹۵۰

پیش‌بینی بارش پاییز و زمستان ۱۳۹۴

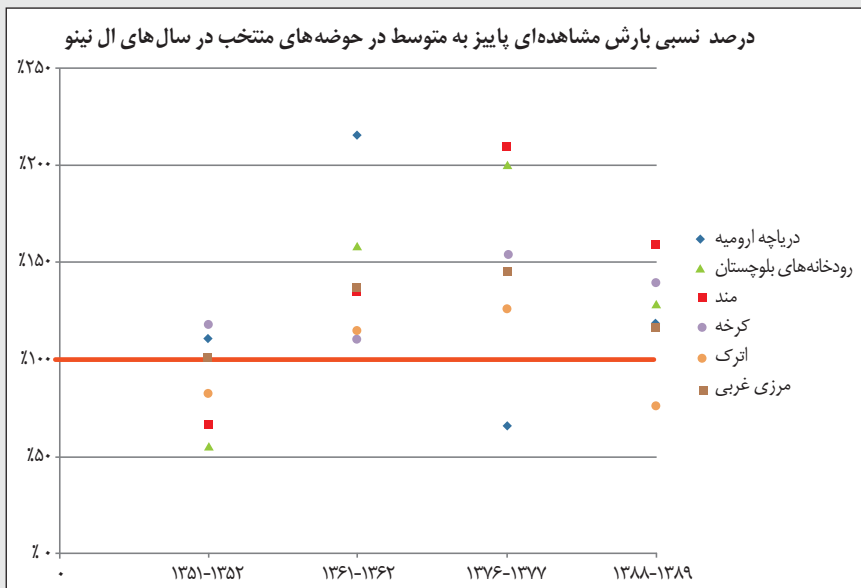
همان‌طور که ذکر شد، از اوایل بهار ۱۳۹۴ وقوع ال‌نینوی قوی در حد قوی‌ترین ال‌نینوی مشاهده‌ای در سال ۱۳۷۶ (۱۹۹۸-۱۹۹۷) در اقیانوس آرام پیش‌بینی شده بود. اقلیم آینده به عوامل مختلفی وابسته است ولی در سال‌هایی که پدیده‌های ال‌نینو یا لانینیا در اقیانوس آرام قوی باشند، این پدیده‌ها بیشترین اثر را در اقلیم ماه‌های بعد خواهند داشت. با توجه به موارد فوق، پیش‌بینی ال‌نینو قوی در تابستان از دو نظر اهمیت داشت:

- ۱- در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور در سال‌های ال‌نینوی قوی، احتمال بارش بیش از متوسط افزایش می‌یابد.
- ۲- در سال‌هایی که پدیده‌های ال‌نینو یا

لانینیا در اقیانوس آرام قوی باشند، دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی افزایش می‌یابد.

به منظور به‌دست آوردن ارتباط دقیق میان پدیده ENSO و اقلیم نقاط مختلف جهان، پژوهشگران عقیده دارند که بهتر است تأثیر این پدیده در فازهای حدی آن بررسی شود. به همین دلیل مطالعه‌ای با توجه به پیش‌بینی‌های صورت گرفته در خصوص وقوع ال‌نینوی قوی در پاییز و زمستان ۱۳۹۴، برای دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو تعریف و انجام گرفت.

در ابتدا جهت بررسی ارتباط بین لانینیا و بارش، ضمن استخراج آمار درازمدت حوضه‌های هدف، مجموع بارش در ماه‌های آبان و آذر



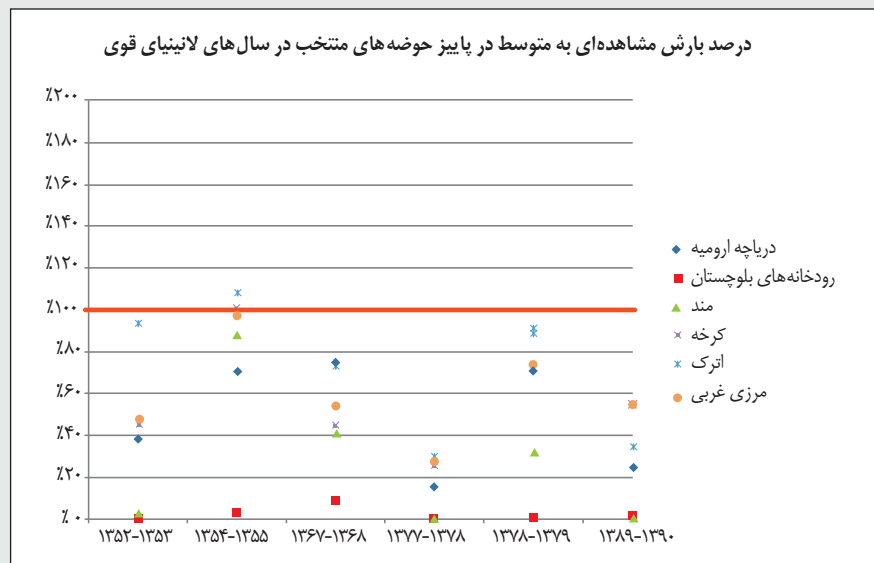
شکل شماره ۱۳ - درصد نسبی بارش مشاهده‌ای به متوسط در پاییز حوضه‌های منتخب در سال‌های ال‌نینو

در حوضه‌های کرخه، مند، مرزی غرب و رودخانه‌های بلوچستان و مجموع بارش در پاییز حوضه‌های اترک و دریایچه ارومیه در سال‌های لانینا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که بجز یک سال در حوضه اترک، در تمام سال‌هایی که پدیده لانینیا قوی به وقوع پیوسته است، بارش در حوضه‌های مورد مطالعه کمتر از متوسط درازمدت بوده است.

این بررسی برای سال‌های ال‌نینو نیز صورت گرفت که نتایج آن در نمودار شماره ۱۳ نشان داده شده است.

در ادامه این تحقیق با استفاده از دورپیوندهای ENSO، MJO، NAO و ... مدل‌های هوشمند توسعه یافته و پیش‌بینی بارش پاییز،

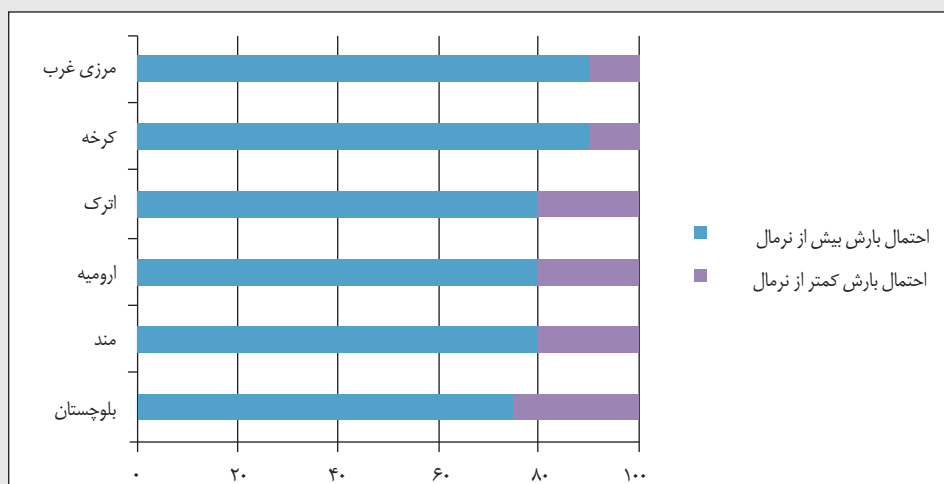
زمستان و بهار حوضه‌های منتخب در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ در زمان واقعی صورت گرفت. با توجه به اینکه برخی از شاخص‌های مورد استفاده بیش از ۱۵۰ سال آمار دارند، از اطلاعات تاریخی نیز برای افزایش دقت پیش‌بینی‌ها استفاده گردید. در این چارچوب، ملحوظ کردن پدیده‌های تاریخی در پیش‌بینی درازمدت خود یک نوآوری محسوب می‌شود. به علاوه با پیش‌مستمر مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی فصلی، استفاده از خرد جمعی در اتاق فکر و بررسی همبستگی دورپیوندهای مورد استفاده با آمار درازمدت، تلاش برای افزایش دقت پیش‌بینی‌ها صورت گرفت. در مرحله بعد با استفاده از تجارب جهانی و ملی، نقشه راه



شکل شماره ۱۴ - درصد بارش مشاهده‌ای به متوسط در پاییز حوضه‌های منتخب در سال‌های لانینیا قوی



شکل شماره ۱۴: نقشه حوزه‌های منتخب در مطالعه



شکل شماره ۱۵: بارش پیش‌بینی شده برای حوزه‌های مورد مطالعه برای پاییز ۱۳۹۴ (تابع هدف برای ۴ حوزه مجموع بارش آبان و آذر و برای دو حوزه شمالی (اترک و ارومیه) بارش پاییز بوده است)

در عمل این پیش‌بینی‌ها نتایج بسیار خوبی را نشان داده و مجموع بارش‌های مشاهده‌ای تا ۱۵ آذر، سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ را در ردیف ۱۰ درصد پاییزهای پربارش مشاهده‌ای تعدادی از این حوزه‌ها قرار داد.

گزارش شده است. با توجه به مطابقت نزدیک بارش‌های پیش‌بینی شده و بارش مشاهده‌ای، می‌توان هشدار وزارت نیرو را بسیار لازم و مؤثر محسوب نمود.

نام حوزه	رتبه بارش آبان ۱۳۹۴	رتبه بارش آبان و آذر ۱۳۹۴
مرزی غرب	اول	دوم
کرخه	اول	دوم
مند	سوم	دوازدهم
ارومیه	ششم	هفدهم
اترک	هفتم	هفدهم

جدول شماره ۳: رتبه بارش‌های آبان و بارش‌های آبان و آذر ۱۳۹۴ در دوره آماری ۵۰ ساله

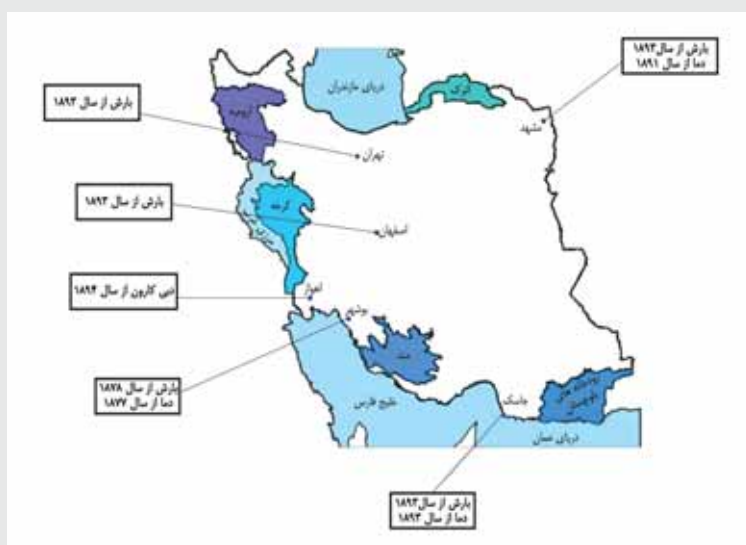
تأسیس و راه‌اندازی مرکز پیش‌بینی منابع آب در وزارت نیرو در حال تهیه است. بر مبنای مطالعات انجام شده و نتایج مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی و همچنین با استفاده از اطلاعات تاریخی برای افق پاییز، به‌طور خلاصه بارش بالای نرمال در آبان و آذر برای حوزه‌های مورد مطالعه پیش‌بینی شد و نتایج در تاریخ ۳۱ شهریورماه ۱۳۹۴ برای کارفرمای طرح ارائه گردید. بر این اساس، نامه‌ای توسط وزارت نیرو در اوایل مهر ۱۳۹۴ با موضوع هشدار وقوع سیلاب در پاییز تهیه و به سازمان‌های ذی‌ربط ابلاغ گردید. این اولین هشدار سیلابی بود که بیش از یک‌ماه قبل از وقوع سیل در کشور صادر شده بود. خلاصه

پیش‌بینی‌های انجام شده در شکل شماره ۱۵ آورده شده است. در جدول ۳ هم رتبه بارش آبان ۱۳۹۴ حوزه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طوری‌که در جدول نشان داده شده بارش آبان‌ماه در دو حوزه مرزی غرب و کرخه بیشترین در دوره آماری (حدود ۴ برابر بارش متوسط درازمدت) گزارش شده است. بارش آبان حوزه‌ای مند، اترک و ارومیه هم به ترتیب چهارم، دو و دو برابر متوسط درازمدت



پیش بینی بارش زمستان حوضه های مورد مطالعه

بر خلاف پاییز، دقت پیش بینی وضعیت بارش حوضه ها در سال های ال نینوی قوی در مطالعات اولیه پایین برآورد گردید. به منظور افزایش دقت پیش بینی های بارش زمستان ۱۳۹۴، علاوه بر مدل های هوشمند، از آمار درازمدت ایستگاه هایی که بیش از ۱۰۰ سال آمار ماهانه بارش داشتند نیز استفاده گردید. این ایستگاه ها در



شکل شماره ۱۶: ایستگاه های کشور با آمار ماهانه بارش بیش از ۱۰۰ سال

شکل ۱۶ آورده شده است.

براساس تحلیل های صورت گرفته روی آمار بارش درازمدت نتایج مهمی حاصل گردید. یکی از این نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول وضعیت بارش بهمن و اسفند ایستگاه مورد مطالعه در سال های ال نینوی قوی ارائه شده است.

براساس این جدول بارش بهمن و اسفند این ایستگاه ها سال های ال نینوی قوی در ۸۵ درصد سال های تر و خشک بوده و تنها در ۱۵ درصد این سال ها بارش زمستان نرمال محسوب می شده است. این نتیجه گیری به همراه نتایج مدل های دیگر، به پیش بینی بارش زیر نرمال برای حوضه های مورد مطالعه انجامید که این پیش بینی نیز مطابقت نزدیکی با بارش مشاهده ای زمستان حوضه های مورد مطالعه داشت.

پیش بینی بارش بهار حوضه های مورد مطالعه

در مرداد ۱۳۹۴ اکیداً توصیه شده بود که پیش بینی های اقلیمی در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در دستور کار قرار گیرد. در ابتدا هم قرار بود که پیش بینی های برای پاییز، زمستان و بهار سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شود، ولی متأسفانه با وجود مهیا بودن شرایط و دقت خوب پیش بینی های فصلی پاییز و زمستان، پیش بینی

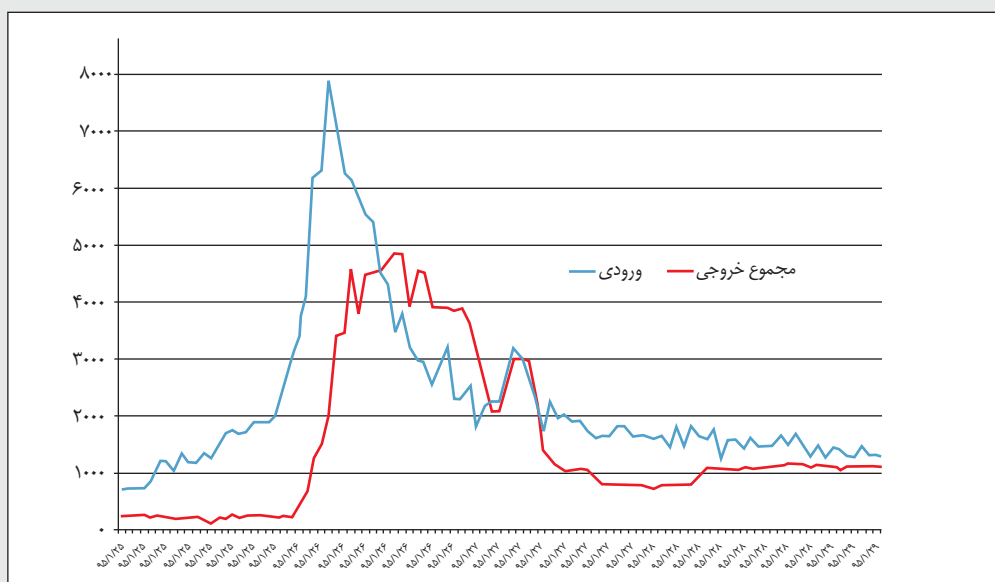
کم بارش	نرمال	پر بارش	طول دوره‌ی آماری (سال)	
*****	***	*****	۱۲۲	اصفهان
*****	***	*****	۱۲۲	تهران
*****	*	*****	۱۲۲	مشهد
*****	*	*****	۱۲۳	جاسک
*****	**	*****	۱۲۸	بوشهر
۲۶	۱۰	۳۰		تعداد
%۴۰	%۱۵	%۴۵	-	درصد وقوع

جدول شماره ۴: وضعیت بارش زمستان ایستگاه‌های کشور با آمار بیش از ۱۰۰ سال در سال‌های ال‌نینیوی قوی

سیلاب با هدف افزایش کارایی و اثربخشی، نقش کلیدی در تضمین توسعه پایدار و دانایی محور داشته و خواهد داشت.

۲- یک سامانه آبی متشکل از سازه‌ها (سخت‌افزار)، نرم‌افزار (سامانه‌های پایش و...) و مغزافزار است. براساس تجارب جهانی و با توجه به توسعه شگفت‌انگیز انقلاب اطلاعاتی و جهش‌های منابع انسانی، بخش نرم‌افزاری و مغزافزاری می‌تواند تطبیق‌پذیری این سامانه‌ها را به نحو چشم‌گیری افزایش دهد. در نتیجه هم‌زمان می‌توان ضمن ارتقای ایمنی و پایداری سامانه‌های آبی، تطبیق‌پذیری

بارش بهار در دستور کار قرار نگرفت. در عمل، بارش‌های شدید و سیلاب‌های بزرگ ۱۴ استان کشور در فرودین ۱۳۹۵ روی دارد. برای مثال ورودی سد دز در ۲۶ فروردین ماه بیشترین مقدار ثبت شده در دوره آماری گزارش شده است (۸۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه). نمودار ورودی و خروجی سد دز در این سیلاب در شکل ۱۴ ارائه شده است. بدون شک در صورتی که پیش‌بینی بارش بهار ۹۵ مانند پاییز ۹۴ از یک‌ماه قبل ارائه شده بود، کاهش قابل ملاحظه خسارات و اثرات این سیلاب‌ها دور از دسترس نمی‌بود.



شکل شماره ۱۷: نمودار ورودی و خروجی سد مخزنی دز در زمان سیل ۲۶ فروردین ۱۳۹۴ (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)

آن‌ها را با شرایط محیطی (محیط‌زیست، جامعه و...) و عدم قطعیت‌ها افزایش داده و در عین حال در بسیاری از موارد کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های سازه‌ای امکان‌پذیر خواهد بود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۱- با توجه به چالش‌های بزرگ آب در قرن بیست و یکم از یک سو و عدم قطعیت‌های ناشی از تغییر هیدروسیسستم‌ها و به‌خصوص تغییر اقلیم از سوی دیگر، تحقق جهش‌های فنی در مدیریت منابع آب و

پیش‌بینی‌های انجام شده برای ۶ حوضه منتخب، برای اولین بار در کشور احتمال بالای وقوع سیلاب‌های آبان و آذر در شهریور ۱۳۹۴ پیش‌بینی شده بود و در همین راستا وزارت نیرو از یک‌ماه قبل هشدار در مورد این سیلاب‌ها را به وزارت کشور اعلام نموده بود. با توجه به مطابقت نزدیک بارش‌های پیش‌بینی شده و بارش مشاهده‌ای، می‌توان هشدار وزارت نیرو را بسیار لازم و مؤثر محسوب نمود.

برگرفته‌ها

- [۱] امامی، کامران؛ «کاهش ریسک سدها بوسیله روش‌های غیر سازه‌ای»، چهارمین همایش سدسازی، تهران، ۱۳۷۹.
- [۲] امامی، کامران؛ «تراز اولیه مخزن در روند سیلاب‌های طراحی رودخانه‌های برفی»، اولین کنفرانس منابع آب ایران، تهران، ۱۳۸۳.
- [۳] امامی، کامران؛ «طراحی تطبیقی سازه‌های هیدرولیکی»، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ۱۳۸۶.
- [۴] امامی، کامران؛ «افزایش ایمنی و منافع سدها با استفاده از پیش‌بینی‌های دراز مدت آورد»، سومین کنفرانس منابع آب، تبریز، ۱۳۸۷.
- [۵] امامی، کامران؛ «کاربرد پیش‌بینی‌های اقلیمی در مدیریت خشکسالی و سیلاب». کنفرانس خشکسالی. کرمان. اسفندماه ۱۳۷۹.
- [۶] امامی، کامران، سارا مکی علمداری و سعید پورشهیدی؛ «افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی با استفاده از پرابی‌ها و خشکسالی‌های دو قرن اخیر»، پژوهش‌نامه شرکت مدیریت منابع آب ایران. ویژه‌نامه هفته پژوهش. آذرماه ۱۳۸۹.
- [۷] امامی، کامران و سعید پورشهیدی. «مدیریت تطبیقی منابع آب». اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی ایران. تهران. بهمن‌ماه ۱۳۹۰.
- [۸] ناظم‌السادات؛ سید محمد جعفر؛ «مبانی هوا و اقلیم‌شناسی»، انتشارات مرکز دانشگاهی، چاپ اول، ۱۳۸۸.
- [۹] یاری اردکول، علیرضا و احمد رضا قاسمی؛ بررسی نوسان‌های بارش پاییزه استان خراسان تحت تاثیر پدیده ENSO، همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، ۱۳۸۳.
- [۱۰] منابع لاتین در دفتر فصلنامه موجود بوده و در صورت نیاز مخاطبان در اختیار آنان قرار می‌گیرد.



شکل شماره ۱۸: سرریزی از سد دز در جریان سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۵ (بزرگ‌ترین سیلاب در دوره بهره‌برداری)

- ۳- در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ روش‌های غیرسازه‌ای محور اصلی مدیریت منابع آب محسوب می‌شدند و روش‌های غیرسازه‌ای به‌عنوان مکمل‌های کم‌هزینه مطرح بودند. ولی به‌دنبال پیشرفت‌های چشمگیر فناوری مرتبط، در اوایل قرن بیست و یکم، بیشتر کارشناسان مدیریت منابع آب بر روش‌های غیرسازه‌ای به‌عنوان محور اصلی تأکید دارند و روش‌های سازه‌ای به‌عنوان مکمل مطرح هستند.
- ۴- پیش‌بینی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و اقلیمی از کارآترین روش‌های غیرسازه‌ای برای ارتقای تطبیق‌پذیری و تاب‌آوری سامانه‌های آبی محسوب می‌شوند.
- ۵- با وجود پیشرفت‌های چشمگیر مدل‌های پیش‌بینی در قرن بیستم، پیش‌بینی‌های فصلی بارش قابل اتکا تنها در اواخر قرن بیستم میلادی ممکن گردید. برای اولین بار در تاریخ بشر، دانشمندان در تابستان ۱۹۹۷، با استفاده از پیش‌بینی‌های اقلیمی مبتنی بر دمای سطح اقیانوس آرام از شش‌ماه قبل سیلاب‌های بزرگی را در کالیفرنیا و فلوریدا به‌درستی پیش‌بینی نمودند. در عمل بیشترین بارندگی مشاهده‌ای در طول دوره آماری (۱۲۰ سال) به‌وقوع پیوست و پیش‌بینی فوق و اقدامات پیشگیرانه موجب کاهش زیان‌ها و خسارات به میزان چند میلیارد دلار گردید. اقلیم‌های آینده به عوامل مختلفی وابسته است ولی در سال‌هایی که پدیده‌های ال‌نینیو یا لانینیا در اقیانوس آرام قوی باشند، این پدیده‌ها بیشترین اثر را در اقلیم‌های بعد خواهند داشت.
- ۶- براساس نتایج مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که دورپیوند قوی میان پدیده‌های ال‌نینیو و لانینیای قوی با بارش‌های حوضه‌های جنوب غربی و غربی کشور وجود دارد. با توجه به حجم قابل ملاحظه بارش این حوضه‌ها نسبت به بارش کل کشور، توصیه می‌شود مانند کشورهای پیشرفته سرمایه‌گذاری لازم برای پیش‌بینی فصلی این حوضه‌ها در الویت قرار گیرد.
- ۷- با استفاده از پیش‌بینی وقوع ال‌نینیوی قوی در تابستان ۱۳۹۴ و