بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده مهندسی عمران**

**گروه مهندسی آب و محیط‌زیست**

# پیش‌بینی بارش و دبی با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی در حوضه بالادست سد گلستان

**دانشجو:**

**حسین رویگر**

**استاد راهنما:**

سعید گلیان

**پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد**

**تابستان 1393**

**دانشگاه صنعتی شاهرود**

**دانشکده مهندسی عمران**

**گروه مهندسی آب و محیط‌زیست**

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای حسین رویگر**

## تحت عنوان: پیش‌بینی بارش و دبی با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی در حوضه بالادست سد گلستان

در تاریخ 1393/6/30 توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... موردپذیرش قرار گرفت.

| اساتید راهنما | امضاء | اساتید مشاور | امضاء |
|---|---|---|---|
| نام و نام خانوادگی: | | نام و نام خانوادگی: | |
| | | نام و نام خانوادگی: | |

| اساتید داور | امضاء | نماینده تحصیلات تکمیلی | امضاء |
|---|---|---|---|
| نام و نام خانوادگی: | | نام و نام خانوادگی: | |
| نام و نام خانوادگی: | | | |

**تقدیم اثر:**

و بعد از مدت‌ها، پس از پیمودن راه‌های فراوان که با حضور شیرین استاد عزیزم، باراهنمایی‌ها و دغدغه‌های فراوانشان و شیطنت‌های زیبای آن دوران، نگاه‌های پدر مادرم، با چشم‌های پر از برق شوق و زیبایی حضور خواهرم در کنارم که خستگی‌های این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده و امیدوارم بتوانم در آینده‌ی نزدیک جوابگوی این‌همه محبت آن‌ها باشم...

اکنون، با احترام فراوان برای این‌همه تلاش این عزیزان برای موفقیت من....

این پایان‌نامه را به پدر و مادرم، استاد عزیز و خواهر مهربانم تقدیم می‌کنم

امیدوارم قادر به درک زیبایی‌های وجودشان باشم

با تشکر فراوان

## تشکر و قدردانی:

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند؛ و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما ازآنجایی‌که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ برحسب وظیفه و از باب من لم تشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ»: از پدر و مادر عزیزم...این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی چشم‌داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ **جناب آقای دکتر گلیان** که در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پروژه را بر عهده گرفتند؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ آقایان **دکتر ساغروانی و دکتر عجمی** که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی رادارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید

# تعهدنامه

اینجانب **حسین رویگر** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی** دانشکده **مهندسی عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **پیش‌بینی بارش و دبی با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی در حوضه بالادست سد گلستان** تحت راهنمایی **دکتر سعید گلیان** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام‌شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافته‌های آن‌ها) استفاده‌شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیرشده پایان‌نامه وجود داشته باشد.

## چکیده:

همان‌طور که مطالعات پژوهشگران نشان داد سیگنال‌های اقلیمی به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده در بارش، خشک‌سالی، سیل و ... مورداستفاده قرار می‌گیرند. ازاین‌رو هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان تأثیر سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی بر بارش و دبی حوضه آبریز مطالعاتی و درنهایت ارائه مدل پیش‌بینی بارش و دبی با استفاده از سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی و روش‌های هوش محاسباتی می‌باشد. در این مطالعه نقش سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی در میزان بارش و دبی ماهانه حوضه آبریز مادرسو واقع در بالادست سد گلستان برای 3 ایستگاه باران‌سنجی و 3 ایستگاه هیدرومتری مهم در منطقه بررسی شد.

در مقیاس ماهانه، حداکثر همبستگی مجموع بارش و میانگین دبی ایستگاه‌های مطالعاتی برای سیگنال‌های اقلیمی با شاخص Nino 1+2 و برای داده‌های دمای سطح دریاهای گرینلند، شمال و جنوب خلیج‌فارس، جنوب دریای سرخ و شبکه سوران و با فشار سطح دریا خزر به دست آمد و این بدان معنا است که این شاخص بیش‌ترین تأثیر را بر بارش و دبی ماهانه حوضه‌ی آبریز مطالعاتی دارد. حداکثر میزان همبستگی شاخص Nino 1+2 با داده‌های ماهانه ایستگاه باران‌سنجی و هیدرومتری گالیکش به ترتیب 0/40 و 0/51 با تأخیر 11 و 13 ماه می‌باشد. با انجام تحلیل روی داده‌های دمای سطح دریا نیز بیش‌ترین ضریب همبستگی برای داده‌های بارش 0/455، 0/478 و 0/44 با تأخیرهای 6 و 3 و 9 ماهه و برای داده‌های دبی نیز 0/442، 0/576 و 0/552 با تأخیرهای 2 و 7 و 15 ماهه به‌دست‌آمده است. همچنین با انجام بررسی روی داده‌های فشار سطح دریا نیز بیش‌ترین ضریب همبستگی برای بارش و 0/425 با تأخیرهای 7 و 9 و 9 ماهه و برای داده‌های دبی نیز 0/594، 0/433، 0/61 با تأخیر 9 ماهه به‌دست‌آمده است. در کل ارتباط قوی میان بارش ایستگاه‌های تنگراه و تمر با SLP دریای خزر و گالیکش با SST دریای خزر و دبی ایستگاه‌های تنگراه و گالیکش و SLP دریای خزر و ایستگاه تمر با SST منطقه گرینلند وجود دارد. بیش‌ترین میزان همبستگی حداکثر

بارش ماهانه ایستگاه تنگراه در ماه می برابر با 0/641 با SST شرق مدیترانه با تأخیر 7 ماه، برای ایستگاه تمر در ماه اکتبر برابر با 0/537 با SLP غرب دریای مدیترانه با تأخیر 11 ماهه و برای ایستگاه گالیکش در ماه اوت برابر با 0/495 با SLP اقیانوس اطلس با تأخیر 4 ماهه به دست آمد. بیش‌ترین میزان همبستگی دبی ایستگاه‌های تنگراه، تمر و گالیکش با ماه آوریل به ترتیب برابر با 0/937، 0/782 و 0/926 با تأخیر 8 ماهه و با SLP خلیج عدن به دست آمد. همچنین بررسی معنی‌داری این ضرایب به‌دست‌آمده از طریق P-Value نشان‌دهنده معنی‌دار بودن همه‌ی این ضرایب می‌باشد. در مرحله پیش‌بینی از هرکدام از این سیگنال‌ها برای پیش‌بینی بارش و دبی حداکثر ماهانه در ماه‌های دوم، سوم و چهارم میلادی سال به‌عنوان ماه‌های پربارش و همچنین ماه هشتم سال میلادی به‌عنوان ماهی که سیل‌های بزرگی مانند سیل‌های سال 1380 و 1384 در آن رخ‌داده استفاده شد. همچنین با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه مقادیر بارش و دبی حداکثر ماهانه شبیه‌سازی شد. این شبکه‌ها دارای یک یا چند ورودی به‌عنوان سیگنال‌هایی که بیش‌ترین همبستگی را با مقادیر بارش و دبی حداکثر ماهانه در بررسی همبستگی دارا بود و یک خروجی به‌عنوان مدل پیش‌بینی می‌باشد. با استفاده از این نتایج و همچنین شبکه‌های به‌دست‌آمده از هر سری زمانی در ماه‌های مختلف می‌توان وقایع حدی بارش ودبی در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و اوت را با دقت نسبتاً خوبی پیش‌بینی کرد. به‌عنوان‌مثال، شاخص‌های عملکرد ازجمله ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و ضریب ناش- ساتکلیف برای حداکثر برای بارش ایستگاه باران‌سنجی تنگراه 0/067، 0/95 و 0/945 در ماه اوت و دبی ماهانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر 0/078، 0/989 و 0/958 در ماه اوت، برای دوره آزمون به دست آمد. در نهایت شبکه‌های عصبی ذخیره شده برای پیش‌بینی بارش و دبی سیلاب مرداد اخیر 1393 مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل‌قبولی به دست آمد.

**کلیدواژگان:** سیگنال‌های هواشناسی ، دمای سطح دریا، فشار سطح دریا، دبی، بارش ، شبکه عصبی مصنوعی، همبستگی

## لیست مقالات:

Ruigar.H, Golian.s. (2014). **Prediction of maximum monthly rainfall in Golestan Dam Watershed using climate signals.** Theoretical and Applied Climatology

رویگر، ح; گلیان، س، " **بررسی ارتباط بین شاخص‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی بر میزان بارش ماهانه و آبدهی متوسط ماهانه حوضه سد گلستان** "، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل 17 و 18 اردیبهشت‌ماه 1393

## فهرست مطالب:


فصل اول: مقدمه ..... 1

1-1 مقدمه ..... 2

2-1 رویداد النینو – نوسانات جنوبی ..... 3

1-2-1 شاخص Nino 1+2 ..... 6

2-2-1 شاخص Nino3 ..... 6

3-2-1 شاخص Nino 3,4 ..... 6

4-2-1 شاخص Nino 4 ..... 6

5-2-1 شاخص چند متغیره انسو ..... 6

6-2-1 شاخص انتقالی نینو ..... 7

8-3-1 نوسان قطبی. ..... 7

4-1 نوسان قطب شمال ..... 9

5-1 نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO): ..... 10

6-1 شاخص نوسان جنوبی ..... 11

7-1 دمای سطح دریا ..... 12

8-1 فشار سطح دریا ..... 12

9-1 هدف از انجام پایان‌نامه ..... 13

10-1 بخش‌های مختلف پایان‌نامه ..... 13

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته ..... 15

1-2 مقدمه ..... 16

2-2 بررسی ارتباط سیگنالهای پیوند از دور با بارش، سیل و خشک‌سالی در نقاط مختلف ..... 17

3-2 پیش‌بینی دبی و بارش با استفاده از هوش مصنوعی با در نظر گرفتن سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس به‌عنوان ورودی ..... 22

4-2 جمع‌بندی ..... 28

فصل سوم: مواد و روش‌ها ..... 16

1-3 مقدمه ..... 32

2-3 ضریب همبستگی ..... 33

1-2-3 ضریب همبستگی پیرسون ..... 34

3-3 شبکه عصبی مصنوعی ..... 35

4-3 مدل ریاضی نرون‌های عصبی ..... 37

5-3 الگوریتم پس انتشار خطا ..... 39

1-5-3 انتشار به عقب حساسیت‌ها ..... 44

6-3 توابع محرک (توابع انتقال) ..... 46

1-6-3 تابع خطی ..... 46

2-6-3 تابع محدودکننده (حد آستانه)..... 47

3-6-3 تابع سیگموئیدی تک‌قطبی ..... 48

4-6-3 تابع تانژانت هیپربولیک ..... 48

7-3 شبکه‌های MLP ..... 49

8-3 استانداردسازی داده‌های بارش و دبی قبل از ورود به پرسپترون چندلایه ..... 50

9-3 توابع هدف مورداستفاده برای بهینه‌سازی مدل‌ها ..... 51

10-3 جمع‌بندی..... 52

فصل چهارم: منطقه تحقیق ..... 53

1-4 مقدمه..... 56

2-4 منطقه تحقیق..... 57

3-4 داده‌های مورداستفاده ..... 59

فصل پنجم: نتایج و بحث ..... 60

1-5 بررسی همبستگی ..... 64

1-1-5 بررسی همبستگی مقادیر متوسط ماهانه با سیگنالهای اقلیمی ..... 64

2-1-5 بررسی همبستگی ماهانه با داده‌های دمای سطح دریا..... 65

3-1-5 بررسی همبستگی ماهانه با داده‌های فشار سطح دریا..... 67

4-1-5 **بررسی همبستگی مقادیر حدی بارش و دبی ماهانه با سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی** ... 68

5-1-5- جمع‌بندی ..... 74

2-5 پیش‌بینی بارش و دبی ماهانه با شبکه عصبی مصنوعی ..... 75

1-2-5 پیش‌بینی بارش حداکثر ماهانه با شبکه عصبی مصنوعی ..... 77

1-1-2-5 پیش‌بینی با یک سیگنال ..... 79

2-1-2-5 پیش‌بینی با سه سیگنال ..... 80

3-1-2-5 پیش‌بینی با بهترین سیگنال‌ها ..... 81

2-2-5 پیش‌بینی دبی حداکثر ماهانه ..... 88

1-2-2-5 پیش‌بینی دبی حداکثر ماهانه با یک سیگنال ..... 91

2-2-2-5پیش‌بینی دبی حداکثر ماهانه با سه سیگنال ..... 92

3-2-2-5 پیش‌بینی دبی حداکثر ماهانه با بهترین سیگنال‌ها ..... 94

3-2-5 جمع‌بندی ..... 100

4-2-5 پیش‌بینی بارش و سیل اخیر مرداد 1393 ..... 101

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادت ..... 103

1-6 نتیجه گیری ..... 104

2-6 پیشنهادات ..... 108

فصل هفتم: منابع و ماخذ ..... 109

**فهرست اشکال:**


شکل 1-1: چرخه وقوع فازهای گرم و سرد پدیده انسو در اقیانوس آرام جنوبی .....5

شکل 1-2: موقعیت جغرافیایی شماتیک 4 شاخص اول پدیده انسو .....5

شکل 1-3: نمای شماتیکی وقوع نوسانات قطبی .....8

شکل 1-4: وقوع فازهای مثبت و منفی نوسانات اطلس شمالی.....10

شکل 1-5: نمای شماتیکی وقوع نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام .....11

شکل 3-1: ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی .....37

شکل 3-2: شبکه عصبی مک کلاچ- پیتز .....38

شکل 3-3: تابع محدودکننده .....47

شکل 3-4: تابع سیگموئیدی تک قطبی .....48

شکل 3-5: تابع تانژانت هیپربولیک.....48

شکل 4-1: موقعیت حوضه مادرسو و ایستگاههای باران‌سنجی و هیدرومتری مورداستفاده.....59

شکل 4-2: نمای شماتیک نقاط مورداستفاده در تحلیلهای دما و فشار سطح دریا .....61

شکل 5-1: حداکثر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و دمای سطح دریا .....66

شکل 5-2: حداکثر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای میانگین دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و دمای سطح دریا .....66

شکل 5-3: حداکثر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و فشار سطح دریا .....67

شکل 5-4: حداکثر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای میانگین دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و فشار سطح دریا.....67

شکل 5-5: ضریب همبستگی محاسبه‌شده حداکثر دبی ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و سیگنال-های بزرگ‌مقیاس اقلیمی ..... 69
شکل 5-6: ضریب همبستگی حداکثر بارش ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی ..... 69
شکل 5-7: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده بارش ایستگاه تنگراه ..... 84
شکل 5-8: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده بارش ایستگاه تمر ..... 85
شکل 5-9: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده بارش ایستگاه گالیکش ..... 86
شکل 5-10: مقایسه نتایج به‌دست آمده بارش پیشبینی شده ANN و بارش مشاهداتی ماه‌های مختلف ایستگاههای مطالعاتی ..... 87
شکل 5-11: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده دبی ایستگاه تنگراه ..... 96
شکل 5-12: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده دبی ایستگاه تمر ..... 97
شکل 5-13: خط رگرسیون بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده دبی ایستگاه گالیکش ..... 98
شکل 5-14: مقایسه نتایج به‌دست‌آمده دبی پیش‌بینی‌شده ANN و دبی مشاهداتی ماه‌های مختلف ایستگاه‌های مطالعاتی ..... 99

**فهرست جداول:**

جدول 3-1: مدل‌های ورودی و خروجی بارش حداکثر ماهانه در شبکه عصبی مصنوعی ..... 53
جدول 3-2:مدل‌های ورودی و خروجی دبی حداکثر ماهانه شبکه عصبی مصنوعی ..... 53
جدول 4-1: برخی از پارامترهای آماری داده‌های بارش حداکثر ماهانه ایستگاه‌های مطالعاتی ..... 58
جدول 4-2: برخی از پارامترهای آماری داده‌های دبی حداکثر ماهانه ایستگاه‌های مطالعاتی ..... 58
جدول 4-3: نام و مختصات نقاط مورداستفاده در تحلیل‌های دما و فشار سطح دریا ..... 60

جدول 5-1:حداکثر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های بارسنجی و شاخص‌های اقلیمی ..... 64

جدول 5-2: حداکثر ضریب همبستگی برای میانگین دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و شاخص‌های اقلیمی ..... 65

جدول 5-3: بررسی معنی‌داری حداکثر ضرایب همبستگی میانگین بارش و دبی ..... 68

جدول 5-4: تأخیر و معنی‌داری برای حداکثر بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی ..... 70

جدول 5-5: تأخیر و معنی‌داری برای حداکثر دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی ..... 71

جدول 5-6: مدل‌های استفاده‌شده برای پیش‌بینی بارش حداکثر ماهانه ..... 77

جدول 5-7: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با یک سیگنال ..... 80

جدول 5-8: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با سه سیگنال ..... 81

جدول 5-9: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با بهترین سیگنال‌ها ..... 82

جدول 5-10- مدل‌های استفاده‌شده برای پیش‌بینی دبی حداکثر ماهانه ..... 88

جدول 5-11: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با یک سیگنال ..... 92

جدول 5-12: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با سه سیگنال ..... 93

جدول 5-13: نتایج آنالیز شبکه عصبی برای پیش‌بینی با بهترین سیگنال‌ها ..... 95

جدول 5-14: مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده بارش منجر به سیلاب مرداد 1393 ..... 101

جدول 5-15: مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دبی سیلاب مرداد 1393 ..... 101

# فصل

# 1

# مقدمه

## 1-1 مقدمه

همه جنبه‌های زندگی انسان به نحوی تحت تأثیر فرایندهای آب و هوایی است و این تأثیرگذاری در زمینه‌های گوناگونی چون کشاورزی، آبیاری، اقتصاد، مخابرات، حمل‌ونقل، ترافیک، آلودگی هوا و صنایع نظامی بیشتر دیده می‌شود .پیش‌بینی این فرایندها ابزار مناسبی در اختیار مدیران حوزه‌های گوناگون قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن این پیش‌بینی‌ها، سیاست‌های آینده را در جهت بهینه ساختن صرف هزینه‌ها و امکانات بهره‌وری حداکثر طرح‌ریزی کنند (Haltiner,1980).

در مناطق مختلف جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک تقاضا برای آب در همه‌ی بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی در حال افزایش است و تأمین آب در این مناطق با مشکل جدی روبه‌روست .با توجه به اینکه پیش‌بینی و پیش‌آگاهی میزان بارش و آب‌های سطحی در زندگی انسان و در برنامه‌های مدیریتی نقش اساسی و قابل‌توجهی دارد، مطالعه آن در نقاط مختلف ضروری است. در سال‌های اخیر بررسی برهم‌کنش بین عوامل آب و هوایی در خشکی، اقیانوس و جو موردتوجه بسیاری از دانشمندان علوم هواشناسی و اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی قرارگرفته است. یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نوسانات اقلیمی سالانه کره‌ی زمین سیگنال‌های هواشناسی پیوند از دور در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای است (فلاح قالهری، 1385).

سیگنال‌های هواشناسی که در اثر تغییرات میدان‌های فشار در مناطق مختلف زمین شناخته‌شده‌اند، می‌توانند با تغییر توزیع فشار در سطح زمین، الگوهای بارش و به‌ویژه دمای سطح زمین را تعیین کنند. تاکنون محققین علم هواشناسی توانسته‌اند با استفاده از تغییرات میدان‌های فشار در مناطق مختلف کره زمین، سیگنال‌های متعددی را بیابند که هرکدام از آن‌ها می‌توانند پراکندگی بارش را در منطقه تحت تأثیر خود مشخص نماید، ازجمله سیگنال‌های مهم هواشناسی که هم‌اکنون محققین متعددی در حال مطالعه اثرات آن‌ها بر روی الگوهای بارش و دمای زمین هستند، می‌توان به پدیده‌ی النینو نوسانات جنوبی (ENSO)، نوسان اصلی شمالی (NAO)، نوسان قطبی (AO)، نوسان دهه‌ای

اقیانوس آرام (PDO)، نوسان جنوبی (SOI)، اشاره نمود. از دیگر روش‌های پیش‌بینی آب و هوایی، استفاده از علامت‌ها و پدیده‌های مشخصی از قبیل تغییرات دوره‌ای فشار سطح دریا (SLP) و تغییرات دوره‌ای دمای سطح دریا (SST) و مانند این‌ها است که از آن‌ها بانام سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی یاد می‌شود. این سیگنال بر اساس فشار سطح دریا، گرادیان فشار سطح دریا، دمای سطح دریا، گرادیان دمای سطح دریا و دیگر پارامترهای هواشناسی به دست می‌آیند. در زیر به تعریف هر یک از موارد ذکرشده به‌صورت مختصر می‌پردازیم.

## 2-1 رویداد النینو – نوسانات جنوبی[1]

رویداد النینو / نوسان جنوبی (ENSO) یکی از مهم‌ترین و شاخص‌ترین رویدادهایی است که منجر به ظهور نابهنجاری‌های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می‌شود (Alexander, 1999; ناظم السادات و قاسمی، 1383). برای نخستین بار والکر و بلیس (1932) بر وجود نوسانی در فشار سطح دریا و در مقیاس جهانی اشاره کردند و آن را نوسان جنوبی SO نامیدند. واژه انسو از ترکیب دو واژه نوسان جنوبی[2] و النینو[3] گرفته‌شده که النینو مؤلفه اقیانوسی و نوسان جنوبی مؤلفه اتمسفری این پدیده است. معمولاً اختلاف فشار سطحی بین تاهیتی در شرق و داروین استرالیا در غرب اقیانوس آرام به‌عنوان مبنای اندازه‌گیری شاخص نوسان جنوبی (SOI) مورداستفاده قرار می‌گیرد و مقادیر مثبت یا منفی این اختلاف بیانگر فازهای مختلف انسو است. شاخص‌های درجه حرارت سطحی اقیانوس آرام در مناطق 4 گانه Nino1+2، Nino3، Nino3,4، Nino4 نیز به‌وسیله محققین مختلفی پیشنهادشده است (Trenberth,1996). شاخص انتقالی نینو[4] (TNI) که اخیراً به‌وسیله ترن برت پیشنهاد گردیده نیز از روش‌های کاملاً جدید جهت محاسبه شرایط النینو و لانینا است ( Trenberth and Stepaniak,

1 El-nino Southern Oscillation
2 Southern Oscillation
3 El- Nino
4 Trans-Nino index

2001). شاخص چند متغیره انسو[5] (MEI) نیز یکی از روش‌های معتبر در این زمینه است (Wolter,1987). فازهای گرم انسو به النینو و فازهای سرد به لانینا معروف هستند. واژه النینو اساساً به جریان اقیانوسی گرم و ضعیف سالانه‌ای اطلاق می‌شود که به سمت جنوب در امتداد سواحل پرو و اکوادور در ایام کریسمس جریان می‌یابد و با گرمایش وسیع و غیرمعقول که هرچند سال اتفاق می‌افتد، بوم‌شناسی منطقه‌ای و محلی را تغییر می‌دهد (Trenberth & Hoar,1996). النینو یک شکست میان اتمسفر و اقیانوس آرام می‌باشد که نتیجه آن ایجاد تغییرات آب و هوایی می‌باشد و بیشتر در سواحل غربی آمریکای جنوبی نزدیک به خط استوا اتفاق می‌افتد. در این رویداد لایه سطحی آب اقیانوس در شرق اقیانوس آرام در ناحیه‌ای گرم می‌شود (حداکثر تا 3/5 درجه سانتی‌گراد) و این گرما 4 ماه و یا بیشتر ادامه می‌یابد، این پدیده در بعضی از سال‌ها همراه با گرم شدن بیش‌ازحد می‌باشد که در این حال دمای سطح آب با یک انحراف معیار بالاتر از متوسط ماهانه حداقل برای 4 ماه پی‌درپی و در سه یا پنج محل ساحلی بالا می‌رود همراه با این شارش آب گرم دمای سطح آب دریا و هوا غالباً برای یک سال و یا حتی بیشتر به‌صورت غیرعادی گرم باقی می‌ماند و برای برگشتن به وضعیت عادی حداقل یک سال زمان لازم خواهد بود. پس از پایان دوره گرم، مرحله سرد شدن آب‌های سطحی اقیانوس شروع می‌شود که به این پدیده لانینا می‌گویند (Wallace and Gutzler, 1981). این الگوها درواقع منعکس‌کننده تأثیرات پدیده انسو در شدت و موقعیت چرخه‌های سیاره‌ای و الگوهای وزش رود بادها در مناطق ورای حاره‌ای می‌باشند. پدیده انسو بر مناطق مختلف کره زمین تأثیرات متفاوتی را می‌گذارد که بیشتر تأثیرات فاز گرم (النینو) مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند. این اثرات شامل خشک‌سالی شدید، بارش‌ها و سیلاب‌های غیرمعمول، آتش‌سوزی جنگل‌ها وقوع هاریکن‌ها، افزایش بیماری‌های گرمسیری همچون مالاریا و دیگر اثرات اقتصادی و اجتماعی می‌باشد (WMO, 1998). شاخص‌های پدیده انسو عبارت‌اند از: Nino1+2، Nino 3، Nino 3,4، Nino 4، MEI (شاخص

[5] Multivariate ENSO Index