

مدل نمایی برای ضریب انکسار در ایران بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا

بهنام زارع^{۱*}، ایاز قربانی^۲

۱- کارشناس ارشد ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت: ۹۲/۱۰/۰۱، پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۵)

چکیده

در این مقاله، از برخی داده‌های هواشناسی مانند دما، فشار و دمای نقطه شبنم برای استخراج شاخص انکسار در نقاط مختلف ایران استفاده شده است. این داده‌ها به کمک بالن‌های هواشناسی در دوازده ایستگاه جَوّ بالای کشور به صورت تابعی از ارتفاع اندازه‌گیری می‌شوند. مجموعه نقاط شاخص انکسار به دست آمده از داده‌های هر ایستگاه به تفکیک ماه و بر حسب ارتفاع رسم شدند و مدل نمایی مناسبی بر آنها انطباق داده شد. این مدل‌ها در طراحی لینک‌های ماهواره و تخمین ناحیه دید رادارها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، دو منحنی نمایی دیگر با نام‌های حد بالا و پایین برای هر دسته از نقاط معرفی گردید، به طوری که ۹۸٪ نقاط شاخص انکسار در بین این دو منحنی قرار می‌گیرند. در نهایت، ضرایب منحنی‌های نمایی به دست آمده برای چهار ماه سال در قالب سه جدول ارائه شدند. به کمک این جداول، دو نمونه از نقشه‌های شاخص انکسار ماهیانه کشور و دو نمونه نقشه شعاع مؤثر زمین نیز ترسیم شد.

واژگان کلیدی

ایستگاه هواشناسی جَوّ بالا، داده‌های هواشناسی، ضریب انکسار رادیویی، شعاع مؤثر زمین، مدل نمایی، ایران.

۱. مقدمه

مایکروویو که ارتفاع پرتوها از یک کیلومتر از سطح زمین تجاوز نمی‌کند کافی است، ولی برای مواردی که ارتفاع پرتوهای موج به چندین کیلومتر می‌رسد، این مدل خطای زیادی خواهد داشت. خصوصاً اینکه اگر منبع ارسال موج، خود در ارتفاعات بالا قرار داشته باشد و به سمت زمین تابش کند، مدل خطی نمی‌تواند بازتاب شدن موج به سمت بالا که در بین دو لایه جَوّ اتفاق می‌افتد، را پیش‌بینی کند [۱۳]. بنابراین برای تخمین ناحیه تحت پوشش رادارهای هوایی و ارتباط بین ماهواره و ایستگاه زمینی و غیره، داشتن مدل مناسب برای انکسار در آن منطقه، مهم و بسیار تأثیرگذار خواهد بود و هرچه مدل ارائه شده دقیق‌تر باشد، نتایج به دست آمده نیز به واقعیت نزدیکتر خواهند بود [۲-۴].

برای استخراج مدل ماهیانه برای شاخص (یا ضریب) انکسار هر منطقه بایستی شاخص انکسار به واسطه اندازه‌گیری پارامترهای جَوّی و یا اندازه‌گیری مستقیم آن به کمک دستگاه انکسارسنج، در

امواج الکترومغناطیسی که در جَوّ زمین منتشر می‌شوند، به دلیل تغییرات ضریب انکسار، از مسیر مستقیم منحرف می‌شوند. اگرچه ضریب انکسار ناحیه تروپوسفر خیلی نزدیک به ضریب انکسار خلاء است، ولی تأثیر همین مقدار کم بر تغییر مسیر موج در مسیرهای طولانی قابل ملاحظه خواهد بود [۱-۳]. به دلیل نزدیک بودن ضریب انکسار^۱ به مقدار واحد، کمیت شاخص انکسار^۲ معرفی می‌شود. برای شاخص انکسار، مدل‌های خطی و نمایی ارائه شده است. مدل خطی به دلیل سادگی در کاربرد (لحاظ کردن شعاع مؤثر برای کره زمین)، مرسوم‌تر است؛ هرچند برای ارتفاعات بیش از یک کیلومتر، خطای پیش‌بینی آن زیاد می‌شود [۳-۶]؛ زیرا اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف جهان نشان داده است که میانگین تغییرات شاخص انکسار بر حسب ارتفاع به خوبی از الگوی نمایی پیروی می‌کند [۷-۱۲]. اگرچه مدل انکسار خطی در کاربردهایی مانند طراحی لینک

^۱ Refractive Index

^۲ Refractivity

* رایانامه نویسنده پاسخگو: behnam.zare@aut.ac.ir

۲. محاسبه ضریب انکسار به کمک داده‌های هواشناسی

ضریب انکسار رادیویی جَو از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (1)$$

که N ، شاخص انکسار بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N = \frac{77.6}{T} \left(P + \frac{4810e}{T} \right) \quad (2)$$

در این رابطه، T دمای مطلق بر حسب کلون، e و P به ترتیب، فشار جزئی بخار آب و فشار بارومتریک (هر دو بر حسب میلی بار) هستند [۲]. میزان خطای این روابط برای فرکانس‌های پایین تر 100GHz کمتر از ۰/۵٪ است [۱۷].

$$e_s = a \exp \left(\frac{(b - T/d)T}{T + c} \right) \quad (3)$$

در این رابطه، ضرایب برابرند با: $c=257.87$, $b=18.729$, $a=6.1121$ و $d=227.3$ خطای این رابطه در بازه دمایی $-40^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C}$ کمتر از ۰/۲۵٪ است [۱۹].

همچنین، فشار بخار آب در دمای محیط برابر فشار بخار اشباع در دمای نقطه شبنم است [۲۰]:

$$e_s(T_{dp}) = e(T) \quad (4)$$

که در این رابطه، T_{dp} دمای نقطه شبنم بر حسب درجه سانتی‌گراد است. با کنار هم قرار دادن روابط (۳) و (۴) واضح است که برای محاسبه فشار بخار آب کافیت در رابطه، به جای دمای T ، دمای نقطه شبنم T_{dp} قرار داده شود.

۳. استخراج مدل نمایی برای ضریب انکسار در ایران

مطابق با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، رابطه نمایی زیر برای شاخص انکسار پذیرفته شده است [۹-۱۷]:

$$N(h) = N_0 \times \exp(-h/h_0) \quad (5)$$

در این رابطه، N_0 معادل شاخص انکسار در سطح دریا و h_0 مقیاس ارتفاع و بر حسب کیلومتر است. با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی جَو بالا که نام و موقعیت جغرافیایی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است، شاخص انکسار در ارتفاعات مختلف و به تفکیک ماه و ایستگاه استخراج شد.

ارتفاعات مختلف تعیین شود و سپس مدل مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات ارتفاعی این نقاط استخراج گردد. اندازه‌گیری‌ها باید در طول سالیان متمادی انجام شود تا مدل‌های به دست آمده، میانگین بهتری از شرایط مختلف جَو باشند.

از دی‌ماه سال ۱۳۷۲ تاکنون دوازده ایستگاه هواشناسی جَو بالا در برخی مراکز استان‌های کشور تأسیس شده است. در این ایستگاه‌ها در چند روز مختلف از هر ماه، بالن‌هایی مجهز به دستگاه‌های رادیوسوند به هوا فرستاده می‌شود تا پروفیل عمودی از جَو شامل دما، فشار، دمای نقطه شبنم، سرعت و جهت باد را اندازه‌گیری نموده و به شبکه هواشناسی ملی و جهانی ارسال کنند. این داده‌ها از پایگاه آنلاین NOAA/ESRL قابل دریافت هستند [۱۴]. البته داده‌هایی که توسط بالن اندازه‌گیری می‌شوند، ممکن است به دلیل شرایط ناپایدار جَو و یا خطای دستگاه، به اشتباه تخمین زده شوند. بنابراین قبل از ارسال این اطلاعات به شبکه هواشناسی جهانی، پردازش‌هایی روی این اطلاعات انجام می‌گیرد تا خطاهای پیش‌آمده، تا حد قابل قبولی مشخص شوند. اینگونه کمیت‌ها در لیست داده‌های دریافت‌شده از این پایگاه با عدد ۳۲۷۶۷ مشخص شده‌اند و در پردازش‌های انجام‌شده در این پژوهش تأثیری نداشته‌اند. تا آنجایی که نگارندگان این مقاله اطلاع دارند، تاکنون گزارشی مبنی بر استخراج مدل نمایی ماهیانه برای شاخص انکسار با استفاده از این داده‌ها ارائه نشده است. در این مقاله سعی شد تا جدولی تهیه شود که بتوان به کمک آنها در هر ماه و هر منطقه از ایران، مقدار مناسب برای شاخص (و ضریب) انکسار را استخراج نمود. باید متذکر شد که در این پژوهش، پدیده وارونگی^۱ که در ارتفاعات پایین خلیج فارس (چند صد متر پایین‌تر از سطح دریا) رخ می‌دهند، لحاظ نشده است؛ دلیل آن هم گذرا بودن این پدیده و نیز کافیتی نبودن داده‌های اندازه‌گیری شده صحیح برای این ارتفاعات است. در [۱۶، ۱۵] این پدیده خاص خلیج فارس بررسی شده است.

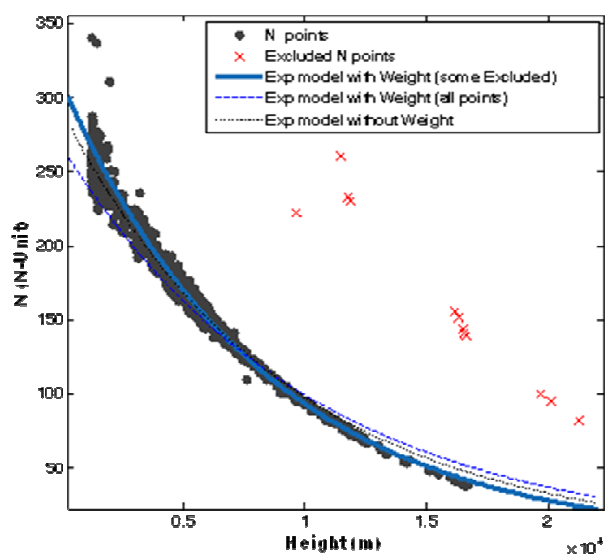
در بخش ۲ این مقاله، روابط لازم برای محاسبه شاخص انکسار به کمک کمیت‌های هواشناسی بیان می‌شود. در بخش ۳، به کمک داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی جَو بالا، الگوی تغییرات ارتفاعی شاخص انکسار و ضرایب مناسب منحنی نمایی تطبیق‌شده بر آنها استخراج‌شده و در بخش ۴، جداول مربوط به این ضرایب بر حسب ماه و نام ایستگاه و همچنین نقشه‌های انکسار و شعاع مؤثر زمین ارائه می‌شود. در پایان هم نتیجه‌گیری از مطالب بیان خواهد شد.

¹ Duct

می‌توانند منحنی موردنظر را دچار انحراف شدید کنند. بنابراین در تطبیق منحنی این نقاط نادیده گرفته شدند. در شکل ۳، به سه روش، منحنی نمایی بر روی نقاط شاخص انکسار تطبیق داده شده است: روش بدون وزن (نقطه‌چین)، روش وزن‌دار با لحاظ کردن همه نقاط (خط‌چین) و دیگری وزن‌دار با حذف نقاط پرت شده (خط ممتد). واضح است که حالت آخر، بهترین جواب برای مدل کردن سیر کلی تغییرات شاخص انکسار به‌خصوص برای ارتفاعات بالا خواهد بود.

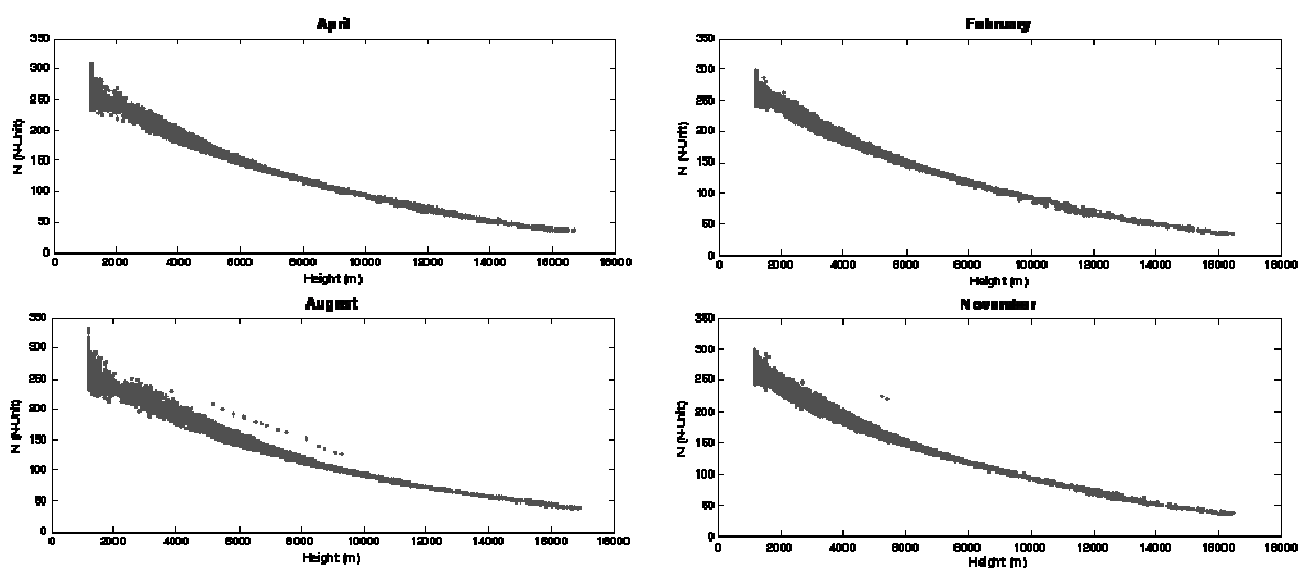


شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا در ایران



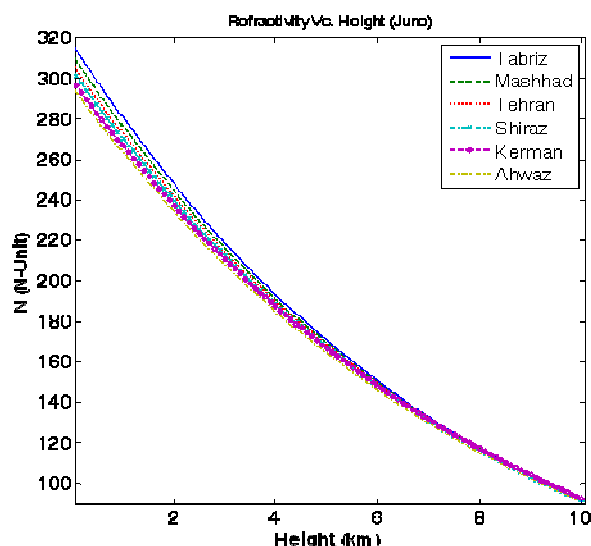
شکل ۳. نقاط شاخص انکسار ایستگاه یزد در ماه می و سه مدل نمایی مختلف تطبیق شده بر آنها.

شکل ۲ مجموعه نقاط شاخص انکسار استخراج شده برای ایستگاه تهران در چهار ماه آوریل، فوریه، آگوست و نوامبر که هر کدام شامل چند هزار نقطه است را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، منحنی نمایی، مدل مناسبی برای پیش‌بینی تابعیت شاخص انکسار نسبت به ارتفاع خواهد بود. برای همه دوازده ایستگاه جَوّ بالا، همین الگوی نمایی ولی با ضرایب متفاوت، صادق است. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، در ارتفاعات پایین، شاخص انکسار پراکندگی نسبتاً زیادی دارد. علت این امر، تغییرات ناپایدار جَوّ در ارتفاعات پایین است. ولی با افزایش ارتفاع، این پراکندگی‌ها کمتر شده و همگی به سمت یک منحنی ثابت میل می‌کنند. برای ارائه مدل نمایی مناسب در تطبیق منحنی، وزن (میزان تأثیر) نقاط به‌شدت متناسب با ارتفاع آنها انتخاب شد. با این کار، نقاطی که ارتفاع زیادی دارند و از روند کلی تغییرات سایر نقاط پرت هستند،



شکل ۲. نقاط شاخص انکسار بر حسب ارتفاع در ماه‌های مختلف سال در ایستگاه هواشناسی تهران

گرفت. در جدول ۱ ضرایب مدل نمایی تطبیق شده و در جداول ۲ و ۳ به ترتیب، ضرایب منحنی نمایی حد بالا و پایین ارائه شده است. همه منحنی‌های ارائه شده در این جداول در بازه مدل‌هایی است که در [۵] به عنوان مدل‌های استاندارد برای شاخص انکسار پیشنهاد شده است. با توجه به این جداول می‌توان گفت که N_0 و h_0 در مدل‌های به دست آمده با هم رابطه معکوس دارند، به این معنی که

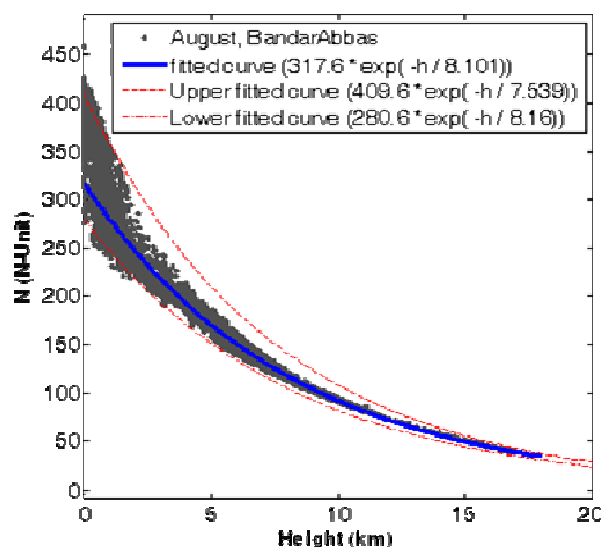


شکل ۵. مدل نمایی به دست آمده برای ایستگاه‌های هواشناسی در ماه ژوئن

جدول ۱. ضرایب مدل نمایی تطبیق شده بر نقاط شاخص انکسار ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا در چهار ماه مختلف سال

(N_0, h_0)	ژانویه	می	آگوست	نوامبر
اهواز	(۷/۸۵۴, ۳۲۰/۴)	(۸/۰۸۳, ۳۱۴/۰)	(۸/۴۵۳, ۲۹۹/۳)	(۷/۹۸۱, ۳۱۷/۵)
بندرعباس	(۸/۲۱۹, ۳۰۹/۳)	(۸/۳۴۳, ۳۰۷/۵)	(۸/۱۰۱, ۳۱۷/۶)	(۸/۳۲۳, ۳۰۷/۵)
بیرجند	(۸/۰۶۶, ۳۱۹/۲)	(۸/۳۰۶, ۳۱۲/۷)	(۸/۵۲۹, ۲۹۹/۲)	(۸/۴۵۱, ۳۰۴/۷)
اصفهان	(۷/۷۴۴, ۳۳۰/۷)	(۷/۹۴۵, ۳۲۵/۰)	(۸/۴۱۹, ۳۰۲/۷)	(۷/۹۱۲, ۳۲۶/۸)
کرمان	(۸/۲۰۸, ۳۱۱/۹)	(۸/۴۰۹, ۳۰۷/۷)	(۸/۶۵۸, ۲۹۲/۴)	(۸/۴۴۱, ۳۰۵/۷)
کرمانشاه	(۸/۱۱۳, ۳۱۴/۶)	(۸/۱۸۳, ۳۱۵/۳)	(۸/۵۲۹, ۲۹۸/۴)	(۸/۲۰۴, ۳۱۳/۳)
مشهد	(۷/۹۱۹, ۳۲۰/۵)	(۷/۹۵۷, ۳۲۳/۵)	(۸/۳۷۳, ۳۰۳/۱)	(۸/۱۲۶, ۳۱۵/۷)
شیراز	(۷/۸۶۹, ۳۲۱/۴)	(۸/۱۱۴, ۳۱۵/۴)	(۸/۳۳۱, ۳۰۶/۱)	(۸/۰۳۵, ۳۱۷/۶)
تبریز	(۷/۸۲۰, ۳۲۴/۱)	(۷/۸۸۲, ۳۲۵/۵)	(۸/۳۱۰, ۳۱۱/۶)	(۸/۰۸۹, ۳۱۷/۰)
تهران	(۷/۹۱۷, ۳۲۱/۰)	(۸/۱۰۸, ۳۱۷/۴)	(۸/۳۲۵, ۳۰۷/۲)	(۸/۰۸۱, ۳۱۷/۵)
یزد	(۸/۰۹۱, ۳۱۴/۳)	(۸/۳۳۸, ۳۰۹/۷)	(۸/۴۵۰, ۳۰۱/۱)	(۸/۴۱۲, ۳۰۹/۱)
زاهدان	(۷/۸۳۷, ۳۲۲/۸)	(۸/۰۱۱, ۳۱۹/۵)	(۸/۴۲۳, ۳۰۱/۰)	(۷/۹۵۸, ۳۲۱/۰)

علاوه بر منحنی نمایی تطبیق شده بر نقاط شاخص انکسار در هر ماه، دو منحنی حد بالا و پایین نیز استخراج شد، به گونه‌ای که ۹۸٪ نقاط شاخص انکسار بین این دو منحنی قرار گیرند. این حدود بالا و پایین می‌تواند در تخمین خطای زاویه‌ای پرتوهای رسیده به آنتن در کاربردهای معرفی شده فوق استفاده شوند. در شکل ۴ مجموعه نقاط شاخص انکسار در ماه آگوست برای ایستگاه بندرعباس به همراه



شکل ۴. نقاط شاخص انکسار ایستگاه بندرعباس در ماه آگوست و منحنی نمایی تطبیق شده و حدود بالا و پایین آن

منحنی تطبیق شده و منحنی حدود بالا و پایین و معادله جبری هر کدام از آنها نشان داده شده است.

در پایان این بخش، مقایسه‌ای بین مدل‌های نمایی به دست آمده از تطبیق منحنی برای ایستگاه‌های مختلف در ماه ژوئن انجام شد که در شکل ۵ {شکل اصلاح شده} ارائه شد. در این ماه، ایستگاه‌های شمالی و سردتر، به مراتب از N_0 بیشتر و h_0 کمتری نسبت به ایستگاه‌های مرکزی و جنوبی برخوردارند. این ترتیب برای شاخص انکسار ایستگاه‌ها در ماه‌های دیگر صادق نیست و در هر ماه، ترتیب ایستگاه‌ها از این نظر متفاوت خواهند بود. اگرچه این مدل‌ها به هم نزدیک هستند، ولی تأثیر همین مقدار کم در انحراف پرتوها در مسیرهای طولانی قابل توجه است.

۴. ارائه نتایج

در این بخش ضرایب منحنی‌های نمایی تطبیق شده و حدود بالا و پایین برای دوازده ایستگاه هواشناسی جَوّ بالا و چهار ماه سال در قالب جدول‌های جداگانه‌ای ارائه می‌شود. به کمک این جداول، می‌توان نقشه‌های شاخص انکسار در کل ایران را رسم نموده و به کار

جدول ۲. ضرایب مدل نمایی حد بالا برای نقاط شاخص انکسار ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا در چهار ماه مختلف سال

حد بالا (h_0, N_0)	ژانویه	می	آگوست	نوامبر
اهواز	(۷/۸۴۸, ۳۵۳/۴)	(۸/۰۷۶, ۳۴۸/۷)	(۷/۹۰۵, ۳۷۸/۲)	(۷/۹۷۵, ۳۵۹/۶)
بندرعباس	(۸/۰۷۳, ۳۵۱/۸)	(۷/۷۹۱, ۳۸۸/۸)	(۷/۵۳۹, ۴۰۹/۶)	(۷/۸۵۳, ۳۷۷/۱)
بیرجند	(۷/۲۳۲, ۴۴۱/۱)	(۷/۲۸۹, ۴۵۱/۷)	(۷/۴۳۳, ۴۱۹/۹)	(۸/۴۴۳, ۳۳۳/۳)
اصفهان	(۷/۰۳۱, ۴۵۱/۳)	(۷/۹۳۹, ۳۵۸/۲)	(۸/۴۱۲, ۳۳۳/۱)	(۷/۱۳۳, ۴۵۰/۵)
کرمان	(۸/۲۰۱, ۳۴۱/۴)	(۸/۴۰۲, ۳۳۶/۶)	(۸/۴۲۴, ۳۲۹/۹)	(۸/۴۳۴, ۳۳۱/۰)
کرمانشاه	(۸/۱۰۷, ۳۴۵/۰)	(۸/۱۷۶, ۳۴۶/۴)	(۸/۵۲۲, ۳۲۷/۹)	(۸/۱۹۸, ۳۴۳/۷)
مشهد	(۷/۹۱۳, ۳۵۳/۰)	(۷/۹۵۱, ۳۵۶/۳)	(۸/۲۷۶, ۳۴۱/۳)	(۸/۱۲۰, ۳۴۶/۵)
شیراز	(۷/۸۶۳, ۳۵۴/۸)	(۸/۱۰۸, ۳۴۸/۰)	(۸/۲۸, ۳۴۰/۶)	(۸/۰۲۸, ۳۵۰/۸)
تبریز	(۷/۸۱۴, ۳۵۷/۰)	(۷/۸۷۶, ۳۵۸/۵)	(۸/۱۶۳, ۳۴۶/۸)	(۸/۰۸۳, ۳۴۷/۹)
تهران	(۷/۹۱۱, ۳۵۸/۰)	(۸/۱۰۱, ۳۴۹/۱)	(۸/۳۱۸, ۳۳۸/۲)	(۸/۰۷۴, ۳۴۸/۸)
یزد	(۸/۰۸۴, ۳۴۴/۸)	(۸/۰۰۴, ۴۰۱/۸)	(۸/۴۴۲, ۳۳۱/۳)	(۸/۴۰۵, ۳۳۷/۶)
زاهدان	(۷/۸۳۱, ۳۵۷/۵)	(۸/۰۰۴, ۳۵۴/۰)	(۸/۴۱۶, ۳۳۲/۳)	(۷/۹۵۲, ۳۵۳/۸)

جدول ۳. ضرایب مدل نمایی حد پایین برای نقاط شاخص انکسار ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا در چهار ماه مختلف سال

حد پایین (h_0, N_0)	ژانویه	می	آگوست	نوامبر
اهواز	(۷/۸۹۱, ۲۸۵/۳)	(۸/۲۲۲, ۲۶۹/۹)	(۸/۵۵۴, ۲۶۳/۲)	(۷/۹۸۷, ۲۷۵/۶)
بندرعباس	(۸/۲۲۶, ۲۷۹/۰)	(۸/۳۹۹, ۲۷۴/۱)	(۸/۱۶۰, ۲۸۰/۶)	(۸/۳۳۷, ۲۷۷/۱)
بیرجند	(۸/۱۱۲, ۲۸۵/۸)	(۸/۵۱۱, ۲۷۰/۱)	(۸/۷۰۸, ۲۶۵/۷)	(۸/۴۵۸, ۲۷۶/۲)
اصفهان	(۷/۸۱۶, ۲۹۱/۷)	(۸/۱۵۹, ۲۷۶/۷)	(۸/۴۲۶, ۲۷۲/۴)	(۸/۰۰۷, ۲۸۷/۵)
کرمان	(۸/۲۱۴, ۲۸۲/۵)	(۸/۵۰۹, ۲۷۳/۰)	(۸/۶۸۰, ۲۷۰/۸)	(۸/۴۸۴, ۲۷۸/۴)
کرمانشاه	(۸/۱۲۰, ۲۸۴/۲)	(۸/۳۴۷, ۲۷۳/۵)	(۸/۵۴۴, ۲۶۸/۴)	(۸/۲۱۱, ۲۸۳/۰)
مشهد	(۹/۴۳۶, ۲۰۶/۷)	(۸/۰۴۰, ۲۸۵/۱)	(۸/۳۸۰, ۲۷۲/۵)	(۸/۱۸۶, ۲۸۱/۳)
شیراز	(۷/۹۰۰, ۲۸۶/۱)	(۸/۲۸۲, ۲۷۱/۶)	(۸/۴۵۸, ۲۶۷/۴)	(۸/۱۲۰, ۲۷۸/۹)
تبریز	(۸/۶۶۰, ۲۳۸/۳)	(۸/۱۰۶, ۲۷۶/۵)	(۸/۳۱۹, ۲۷۳/۰)	(۸/۱۵۵, ۲۸۲/۱)
تهران	(۷/۹۲۳, ۲۸۴/۲)	(۸/۲۲۸, ۲۷۷/۸)	(۸/۳۳۲, ۲۷۶/۳)	(۸/۰۸۸, ۲۸۶/۳)
یزد	(۸/۱۳۰, ۲۸۱/۷)	(۸/۳۴۵, ۲۵۷/۷)	(۸/۴۵۰, ۲۶۸/۳)	(۸/۴۶۲, ۲۷۸/۱)
زاهدان	(۷/۸۴۳, ۲۸۸/۳)	(۸/۰۱۷, ۲۸۵/۲)	(۸/۴۳۰, ۲۶۹/۷)	(۷/۹۶۵, ۲۸۸/۳)

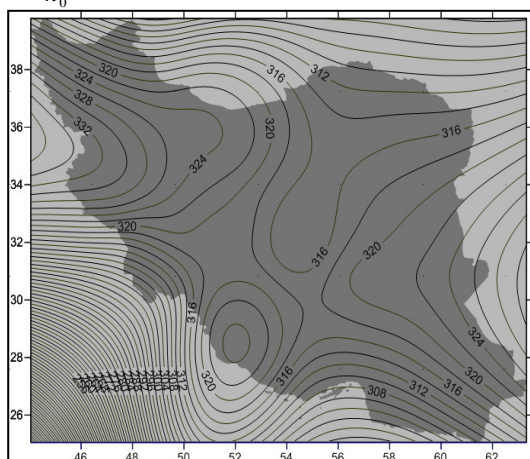
۵. محاسبه شعاع مؤثر زمین

در طراحی لینک‌های مخابراتی معمولاً از مدل انکسار خطی استفاده می‌شود. شعاع مؤثر زمین در این مدل نیز وابسته به شرایط آب و هوایی منطقه است [۲]. رابطه زیر برای این شعاع بیان شده است [۲]:

$$r_e = k r = \frac{r}{1 + r \frac{dn}{dh} \bigg|_{h=0}} \quad (۶)$$

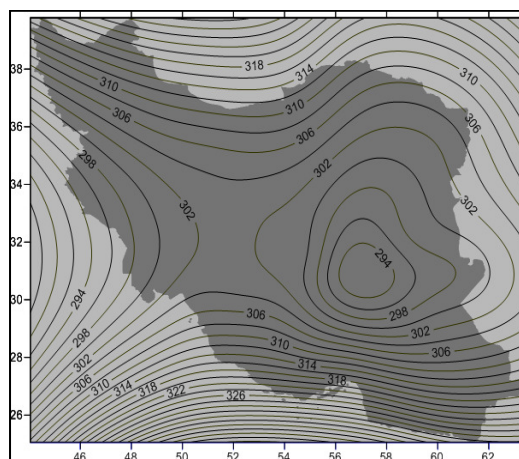
که در این رابطه، r شعاع زمین، k ضریب مؤثر و $\frac{dn}{dh} \bigg|_{h=0}$ گرادیان ضریب انکسار در سطح زمین است. با توجه به رابطه (۵) می‌توان از رابطه زیر برای محاسبه شعاع مؤثر زمین استفاده کرد:

$$r_e = \frac{r}{1 - r \frac{N_0}{h_0} \times 10^{-6}} \quad (۷)$$

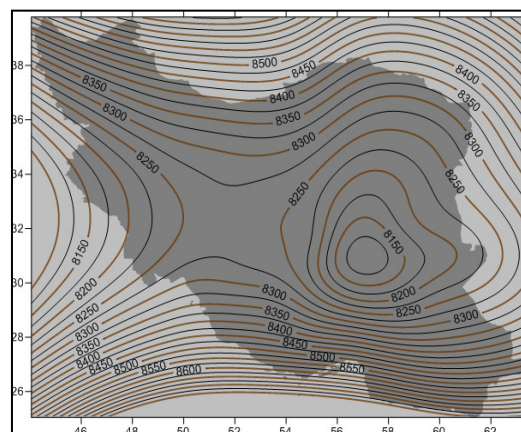
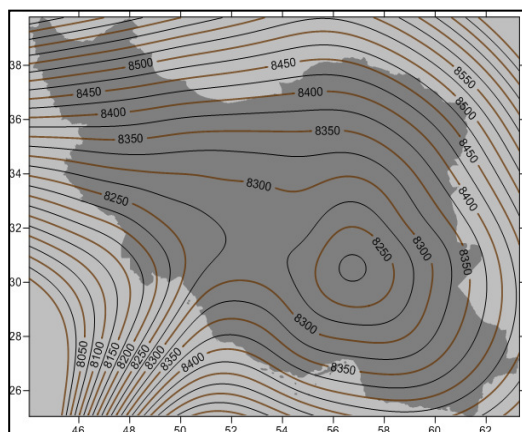


هر ایستگاهی که N_0 بیشتری دارد، h_0 آن از همه ایستگاه‌ها کمتر خواهد بود. این قاعده منطبق بر مدل‌های نمایی است که در [۵] به‌عنوان مدل استاندارد برای انکسار ارائه شده‌اند.

به کمک جدول ۱ و استفاده از روش‌های درون‌یابی دوبعدی مانند الگوریتم شیب‌دار اصلاح‌شده [۲۱]، می‌توان از داده‌های دوازده ایستگاه هواشناسی که در سطح ایران پراکنده شده‌اند، برای تولید نقشه‌های کننتوری انکسار در کل کشور استفاده نمود. برای این کار از تخمین نقاط مجاور به کمک داده‌های معلوم یعنی مقدار شاخص انکسار در ایستگاه‌ها، استفاده می‌شود. در شکل ۶ نقشه منحنی‌های هم‌سطح (کننتور) شاخص انکسار N_0 کشور در دو ماه آگوست و ژوئن آورده شده است.



شکل ۶. منحنی‌های هم‌سطح شاخص انکسار N_0 برای ایران. سمت راست: ماه آگوست، سمت چپ: ماه ژوئن



شکل ۷. منحنی‌های هم‌سطح شعاع مؤثر زمین برای ایران. سمت راست: ماه آگوست، سمت چپ: ماه ژوئن

انکسار ایران به کمک اندازه‌گیری‌های سالیانه هواشناسی استخراج شود. سیر کلی تغییرات ارتفاعی شاخص انکسار به‌دست‌آمده در همه ماه‌های سال و تمامی ایستگاه‌ها، بخوبی روندی نمایی را نشان می‌دهند. در شکل ۲ نمونه‌ای از این تغییرات برای چهار ماه سال در ایستگاه تهران نشان داده شده است. این نقاط در ارتفاعات بالا به سمت یک منحنی نمایی، همگرا می‌شوند. هرچند نقاط به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مختلف، گاه دارای نقاط پرتی هستند، که بایستی به‌طریقی اثر آنها حذف می‌شد. این کار نیز با یک تطبیق منحنی بدون وزن و تعیین نقاط پرت و حذف آنها و تطبیق منحنی نهایی وزن‌دار انجام شد. برای پوشش دادن پراکندگی نقاط از منحنی که بیشتر در ارتفاعات پایین رخ می‌دهد، دو منحنی نمایی حد بالا و پایین ارائه گردید. در نهایت، ضرایب سه منحنی یادشده در جداول ۱-۳ برای چهار ماه مختلف سال ارائه شد. هرچند تعداد ایستگاه‌های هواشناسی جَوّ بالا محدود است، ولی این ایستگاه‌ها بخوبی در سطح کشور پخش شده‌اند.

بنابراین از کنار هم قرار دادن مدل‌های به‌دست‌آمده از این ایستگاه‌ها می‌توان نقشه جامع انکسار کشور در هر ماه و هر ارتفاع را به‌دست‌آورد. نمونه‌هایی از این نقشه‌ها در شکل ۶ آورده شده است. ضمن آنکه شعاع مؤثر زمین نیز محاسبه و دو نمونه از نقشه‌های آن در دو ماه سال رسم شد. اگرچه در مدل‌ها و نقشه‌های ارائه شده، پدیده وارونگی که در ارتفاعات پایین خلیج فارس رخ می‌دهند، لحاظ نشده است ولی این نتایج، مدل‌های مناسب و نسبتاً دقیقی برای انکسار نقاط داخلی کشور خواهند بود. نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله می‌توانند در طراحی بهتر لینک‌های مخابراتی و ماهواره و محاسبه ناحیه پوشش راداری مورد استفاده قرار گیرند.

مقادیر N_0 و h_0 برای کشور محاسبه شد. تنها نیاز به داشتن شعاع زمین در محدوده کشور است. برای افزایش دقت نتایج، به‌جای استفاده از یک مقدار ثابت برای شعاع زمین، از مدل شبه کره‌ای^۱ استفاده می‌کنیم. در این مدل، کره زمین با یک بیضوی دوار مدل می‌شود. طول محور اصلی a (از مرکز تا خط استوا) و محور فرعی b (از مرکز تا قطب)، مشخصات این مدل را تعیین می‌کند، و باید مقدار بهینه آنها متناسب با منطقه جغرافیایی تعیین شود. در این حالت، شعاع زمین در عرض جغرافیایی ϕ از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۲۲]:

$$R(\phi) = \frac{a(1-f)}{\sqrt{1-(2f-f^2)\cos^2\phi}} \quad (۸)$$

که در این رابطه، $f = \frac{a-b}{a}$ ضریب پهن‌شوندگی^۲ نامیده می‌شود. رابطه (۸)، شعاع بیضوی گون در مختصات قطبی را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات مرکز نقشه‌نگاری ملی ایران، ویرایش ۱۹۷۷ داتوم اروپایی ۱۹۵۰^۳ با نام ED50 (ED77) برای محدوده ایران مناسب است. در این مدل، $a = 6378.388 \text{ km}$ و $1/f = 297$ توافق شده است [۲۳].

با توجه به روابط یادشده و استفاده از جداول ۱-۳، مشابه بخش قبل می‌توان نقشه‌های شعاع مؤثر زمین در نقاط مختلف ایران را رسم نمود. در شکل ۷، منحنی‌های هم‌سطح شعاع مؤثر برای ایران در دو ماه آگوست و ژوئن نشان داده شده‌اند.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد، مدل نمایی برای شاخص (و ضریب)

^۱ Spheroid

^۲ Flattening factor

^۳ European Datum 1950 (1977)

۷. سپاسگزاری

لازم می‌دانیم از کلیه افرادی که در طول سالیان متمادی در ایستگاه‌ها و ادارات هواشناسی، مشغول به جمع‌آوری، تنظیم و ارائه داده‌های یادشده هستند، تشکر کنیم. بدون این داده‌ها، ارائه مدل میانگین برای الگوی تغییرات ارتفاعی ضریب انکسار در کشور امکان‌پذیر نبود.

۸. مراجع

- [12] Valma, E., Tamosiunaite, M., Tamosiunas, S., Tamosiuniene, M., and Zilinskas, M., "Variation of Radio Refractivity with Height above Ground," *Electronics and Electrical Engineering*, Vol. 111, pp. 23-26, 2011.
- [13] Bauer, K. W., "Range-height-angle charts with lookdown capability," *Microwave Journal*, Vol. 24, pp. 89-92, 1981.
- [14] Schwartz, B. E. and Govett, M., NOAA/ESRL Radiosonde Database [Online]. Available: <http://www.esrl.noaa.gov/raobs>
- [15] Devereux, W. E. and Van Egmond, J., "Effects of ducting on radar operation in the Persian Gulf," in *Radar Conference*, 1989., Proceedings of the IEEE National, pp. 174-181, 1989.
- [16] Zhu, M. and Atkinson, B., "Simulated climatology of atmospheric ducts over the Persian Gulf," *Boundary-layer meteorology*, Vol. 115, pp. 433-452, 2005.
- [17] The Radio Refractive Index: Its Formula and Refractivity Data. Geneva: ITU-R, 2012.
- [18] Boegel, W., "New Approximate Equations for the Saturation Pressure of Water Vapor and for Humidity Parameters Used in Meteorology," *European Space Agency*, Paris, France 1979.
- [19] Buck, A. L., "New equations for computing vapor pressure and enhancement factor," *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 20, pp. 1527-1532, 1981.
- [20] Lawrence, M. G., "The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications," *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 86, pp. 225-233, 2005.
- [21] Thacker, W. I., Zhang, J., Watson, L. T., Birch, J. B., Iyer, M. A., and Berry, M. W., "Algorithm 905: Sheppack: modified Shepard algorithm for interpolation of scattered multivariate data," *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, Vol. 37, pp. 34, 2010.
- [22] R. L. a. O. G. W. Group, "Coordinate Conversions and Transformations including Formulas," *International Association of Oil & Gas Producers* June 2013.
- [23] Kobold, F. and I. A. o. G. S. f. t. N. A. o. t. E. riangulation, *The European Datum nineteen hundred and seventy-seven (ED 77): Report on the symposium of the IAG Subcommission for the New Adjustment of the European Triangulation, held in Brussels from 14 to 18 march, 1977: Dt. Geodät. Forschungsinst., 1979.*
- [1] Blake, L. V., *Radar range-performance analysis vol.1*. Norwood, MA: Artech House, Inc., 1986.
- [2] Skolnik, M. I., *Introduction to radar systems*, 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, 2001.
- [3] Barclay, L. W., *Propagation of radiowaves vol. 502: Iet*, 2003.
- [4] Ghorbani, A., *Principle of Radar Systems*, Tehran, Nahre Danesh, 2010.
- [5] Bean, B. R. and Thayer, G. D., *CRPL Exponential Reference Atmosphere: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards*, 1959.
- [6] Bean, B. R. and Thayer, G. D., "Models of the atmospheric radio refractive index," *Proceedings of the IRE*, vol. 47, pp. 740-755, 1959.
- [7] Lane, J., "The radio refractive index gradient over the British Isles," *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Vol. 21, pp. 157-166, 1961.
- [8] Bean, B. R., "The radio refractive index of air," *Proceedings of the IRE*, Vol. 50, pp. 260-273, 1962.
- [9] Samson, C. A., Bean, B. R., Cahoon, B., and Thayer, G., "A World Atlas of Atmospheric Radio Refractivity," ed: *Institute for Telecommunication Sciences and Aeronomy Boulder co.*, 1966.
- [10] Willoughby, A., Aro, T., and Owolabi, I., "Seasonal variations of radio refractivity gradients in Nigeria," *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, Vol. 64, pp. 417-425, 2002.
- [11] Zilinskas, M., Tamosiunas, S., Tamosiunaite, M., and Tamosiuniene, M., "Determination of radio refractivity using meteorological data," in *Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON)*, 18th International Conference on, , pp. 1-4, 2010.

Exponential Model for the Radio Refractive Index in Iran, Based on Data of Radiosonde Sites

B. Zare*, A. Ghorbani

* Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology

(Received:12/22/2013, Accepted:02/04/2014)

Abstract

In this paper, some meteorological data, such as temperature, pressure and dew point temperature are used for extracting the atmospheric refractivity in different locations of Iran. These data have been measured at different heights in twelve Radiosonde Sites of country by using Meteorological balloons. The set of refractivity points obtained from data of each site are plotted as a function of height for each month of year and so a proper exponential curve is fitted on them. These models are used in design of satellite links and estimation of radar coverage. In addition, two exponential curves named upper and lower bounds are introduced, so that 98% of the refractivity points lie between these two curves. Finally, the coefficients of the obtained exponential curves are presented for the four months of year in three tables. Using these tables, Two examples of the monthly refractivity maps of Iran and two maps of effective earth radius are also plotted.

Keywords: Radiosonde Site, Meteorological data, Radio Refractive Index, Effective Earth Radius, Exponential Model, Iran.