

مدلسازی ریاضی خشک کردن شوید و تاثیر شرایط مختلف جوی بر راندمان خشک کن

هیبریدی - خورشیدی

اسماعیل میرزایی قلعه^{۱*}، حامد کرمی^۲، علی نجات لرستانی^۳

^{۱*} استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

^۲ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

*E.mirzaee@razi.ac.ir، ۶۷۱۵۶۸۵۴۳۸ صندوق پستی

چکیده

در این تحقیق، مدلسازی ریاضی سینتیک خشک کردن لایه نازک گیاه دارویی شوید در یک خشک کن هیبریدی خورشیدی مدل سازی شد. آزمایش‌ها در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و سه سرعت سرعت هوای ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه انجام گرفت. ۵ مدل ریاضی خشک کردن بر داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد. ثابت‌ها و ضرایب مدل‌ها با هم مقایسه شدند. تمام مدل‌های ریاضی خشک کردن بر اساس سه شاخص آماری مربع کای (χ^2)، ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) و ضریب تعیین (R^2)، با هم مقایسه شدند. طبق نتایج به دست آمده مدل آغباشلو و همکاران منحنی سینتیک خشک شدن شوید را نسبت به مدل‌های دیگر بهتر برآورد کرد. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش دما و سرعت هوای عبوری سرعت خشک کردن افزایش یافت. همچنین تاثیر سرعت هوای عبوری بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین بیشتر بود. همچنین نتایج خورشیدی نشان داد که میانگین افزایش دمای هوای ورودی داخل محفظه جمع کننده در طول روز برای شرایط جوی کاملاً ابری، نیمه ابری و کاملاً صاف به ترتیب برابر ۱۱/۷۶، ۱۵/۸۹ و ۱۹/۱۱ درجه سلسیوس بود.

کلید واژگان: خشک کن خورشیدی، لایه نازک، مدل سازی

Drying mathematical modeling and the effect of different atmospheric conditions on the efficiency of the hybrid-solar dryer

Esmail Mirzaee- Ghaleh^{1*}, Hamed Karami², Ali Nejat Lorestani³

1- Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Young Researchers and Elite Club, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

3-Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran

*P.O.B. 6715685438 Kermanshah, Iran, E.mirzaee@razi.ac.ir

Received: 20 December 2017 Accepted: 22 May 2017

Abstract

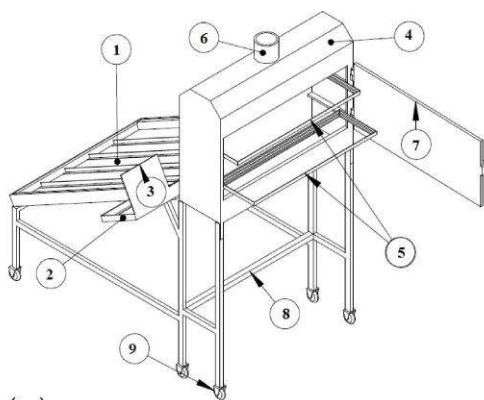
This paper presents the thin layer drying behavior of Dill by a solar hybrid dryer. Experiments were carried out at the air temperatures of 40°C, 50°C, 60°C, 70°C and air velocity of 1m/s, 1.5 and 2 m/s. 5 different thin layer drying models were fitted to experimental data. The high values of coefficient of determination and the low values of reduced chi-square and root mean square error indicated that the *Aghbashlo et al.* model could satisfactorily describe the drying curve of Dill. According to results The drying rate increased with an increase in the drying air temperature and drying air velocity. Also the effect of the air velocity on the drying time at a low temperature is greater than that at a high temperature. Based on the results, the mean values of increasing in air temperatures by solar radiation for cloudy, partly cloudy and sunny conditions were 11.76, 15.89 and 19.11°C, respectively.

Keywords: solar dryer, thin layer, modeling





(الف)



(ب)

شکل ۱ الف) نمای خشک‌کن خورشیدی ب) شماتیک خشک‌کن خورشیدی:
 ۱- جمع‌کننده خورشیدی ۲- سلول خورشیدی ۳- جعبه کنترلر ۴- محفظه خشک‌کن ۵- سینی‌ها ۶- دمپر ۷- درب محفظه ۸- شاسی ۹- چرخ‌ها [۱۱].

۲-۲- انجام آزمایش‌ها

برای انجام این تحقیق گیاه تازه شوید از بازار سبزی شهر کرمانشاه تهیه شد. آزمایش‌ها در چهار دمای ۵۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای ورودی ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه انجام شد. ۲۰۰ گرم گیاه شوید بر روی سینی‌های توری خشک‌کن به گونه‌ای قرار داده شد که روی سینی فقط یک لایه از محصول قرار گرفته بود. در طی خشک‌کردن، وزن محصول به وسیله ترازوی دیجیتالی ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت می‌شد. خشک‌کردن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن نمونه ادامه داشت. سپس نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد [۱۲] و پس از خشک‌شدن کامل، وزن خشک نمونه‌ها به دست آمد. در نهایت رطوبت نمونه‌ها طی خشک‌شدن به وسیله معادله (۱) محاسبه شد [۱۳]:

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \quad)$$

۱- مقدمه

اساساً طول دوره ذخیره مواد غذایی تابع دو عامل فیزیکی دما و مقدار رطوبت آن می‌باشد. با کاهش دما، کاهش رطوبت و یا هر دو، می‌توان به میزان قابل ملاحظه‌ای طول این دوره را افزایش داد. کاهش رطوبت به وسیله عملیات خشک‌کردن ممکن می‌باشد. خشک‌کردن به طور عمده با استفاده از نور آفتاب یا با استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن انجام می‌شود. استفاده از نور آفتاب از زمان‌های باستان رایج بوده است. با این‌که خشک‌کردن سبزی‌ها و میوه‌ها با نور خورشید بسیار اقتصادی است اما زمان خشک‌کردن محصولات غذایی با استفاده از نور آفتاب طولانی بوده و عوامل جوی و مخرب قابل کنترل نیستند [۲۰]. مدل سازی سینتیک خشک‌کردن یکی از راه‌های مناسب برای کنترل زمان و شرایط خشک‌کردن می‌باشد.

آغباشلو و همکاران خشک‌کردن لایه نازک زرشک را مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ متر بر ثانیه انجام گرفت. داده‌های حاصل از آزمایش با شش مدل مربوط به خشک‌کن‌های لایه نازک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل پیچ نسبت به سایر مدل‌ها با دقت بیشتری تغییرات رطوبت را در طی خشک‌کردن توده بستر نازک زرشک پیش‌بینی می‌کند [۳]. پاتاک و سان و وودز بر پس از تحقیق بر روی خشک‌کردن به روش لایه‌نازک دریافتند که دما اثر زیادی بر روی سرعت خشک‌کردن دارد در حالی که سرعت و رطوبت هوای خشک‌کن اثر کمی روی سرعت خشک‌کردن دارند [۴ و ۵]. علاوه بر موارد فوق، تحقیقاتی نیز بر روی: خشک‌کردن نعنای [۶]، زیتون [۷]، کدو حلواپی [۸]، فلفل سبز [۹] و پونه [۱۰] صورت گرفته است. با توجه به اهمیت و حساسیت گیاه شوید به خشک‌کردن هدف از انجام این تحقیق، ارائه مناسب‌ترین مدل برای خشک‌شدن گیاه شوید است. مدل مذکور بر اساس متغیر وابسته (رطوبت توده) و سه متغیر مستقل (زمان، دمای خشک‌کردن و سرعت هوای عبوری) بر داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد.

۲-۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خشک‌کن مورد استفاده

برای انجام آزمایش‌ها، از یک خشک‌کن خورشیدی (شکل ۱) که در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه رازی ساخته شد بود، استفاده شد [۱۱]. برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوای عبوری از محفظه خشک‌کن از یک سرعت‌سنج دیجیتالی پره‌ای استفاده شد. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها ۲۵ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شد.



فصلنامه علمی - ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو - سال پنجم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۷

که M_d رطوبت گیاه شوید بر پایه خشک (db)، W_w وزن شوید در طی خشک شدن، W_d وزن شوید خشک می‌باشد.

مدل‌های رگرسیونی تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک کردن براساس متغیر مستقل زمان با استفاده از نرم افزار SPSS - 17 استخراج گردید. برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب تعیین (R^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط خطای داده‌ها (RMSE) استفاده شد. در مقایسه بین دو مدل، مدل با R^2 بیشتر و مقدار RMSE کم‌تر، بهتر می‌تواند تغییرات نسبت رطوبت را در طی خشک کردن پیش‌بینی کند [14]:

۳-۲- شاخصه‌های خورشیدی

جهت کنترل و پایش دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، دمای صفحه جاذب و دمای هوای خروجی از محفظه خشک‌کن و نیز دمای هوای محیط از حسگر LM75 استفاده شد. برای اجرای فرایند کنترل و پایش خشک‌کن، میکرو کنترلر AVR مدل ATMEGA 8 مورد استفاده قرار گرفت که توسط نرم‌افزار CODEVISION برنامه آن نوشته شده بود. همچنین اطلاعات مربوط به میزان تابش خورشیدی در محدوده زمانی آزمایش‌ها از داده‌های هواشناسی شهر کرمانشاه استخراج شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدلسازی سینتیک خشک‌شدن

آزمایش‌های خشک کردن شوید در چهار سطح دمایی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سرعت هوای ورودی ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه انجام شد. با توجه به مقادیر R^2 ، χ^2 و RMSE مدل‌های رگرسیونی مختلف ارزیابی شد و معیار مدل بهتر، مقدار بیشتر R^2 و مقدار کمتر χ^2 و RMSE بود. بر اساس نتایج مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران تغییرات رطوبت در طی خشک کردن شوید را بهتر برازش کرد. نتایج برازش مدل‌ها براساس متوسط شاخص‌های آماری برای سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه به ترتیب در جداول (۲)، (۳) و (۴) آورده شده است. مقادیر ضرایب این مدل برای سرعت‌های مختلف به ترتیب در جداول (۵)، (۶) و (۷) آورده شده است.

۳-۲- مدل سازی ریاضی منحنی خشک‌شدن

برای مدل سازی ریاضی سینتیک خشک کردن توده بستر نازک شوید از نسبت رطوبت در طی خشک کردن توده استفاده می‌شود. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طی خشک کردن به وسیله معادله (۲) محاسبه شد [۱۳]:

$$MR = \frac{M_d - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

که در آن MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت توده در لحظه جاری بر پایه خشک (kg water/kg dry mater) رطوبت تعادلی (kg water/kg dry mater) M_e و M_0 رطوبت اولیه توده محصول (kg water/kg dry mater) است. براساس تحقیقات انجام شده، در محصولاتی که دارای رطوبت زیاد هستند معادله نسبت رطوبت در طی خشک شدن معادله (۲) به صورت معادله (۳) ساده می‌گردد [۱۳]:

$$MR = \frac{M_d}{M_i} \quad (3)$$

نسبت رطوبت به دست آمده در طی آزمایش با ۵ مدل از مدل‌های استاندارد خشک کردن لایه نازک محصولات کشاورزی مقایسه گردید که در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱ مدل‌های رگرسیونی خشک‌شدن توده بستر نازک مورد استفاده در مدل‌سازی

ردیف	نام مدل	مدل
۱	نیوتن	$MR = \exp(-kt)$
۲	ونگ و سینگ	$MR = 1 + at + bt^2$
۳	ورما و همکاران	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
۴	میدیلی و همکاران	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
۵	آغباشلو و همکاران	$MR = \exp\left(\frac{k_1 t}{1 + k_2 t}\right)$

MR نسبت رطوبت، t زمان (min) و a، b، g، k و n ثابت‌های مدل است

جدول ۲ مقایسه دقت برازش مدل‌ها براساس متوسط شاخص‌های آماری در دماهای مختلف (سرعت 1 m/s)

مدل	R^2	χ^2	RMSE
نیوتن	۰/۹۹۱	۰/۰۰۰۰۳۷۶۵	۰/۰۳۰۹۲۷۵
ونگ و سینگ	۰/۹۷۶	۰/۰۰۰۲۲۰۳۶۹	۰/۳۰۷۲۶۴۲
ورما و همکاران	۰/۹۹۵	۰/۰۰۱۳۴۴۵۵۵	۰/۱۲۲۲۴۷۶۹
میدیلی و همکاران	۰/۹۹۸	۰/۰۰۰۰۰۱۹۴	۰/۰۱۹۲۹۷۵۴۲
آغباشلو و همکاران	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۰۰۱۵۰۳	۰/۰۱۶۰۷۴۴۸۶

جدول ۳ مقایسه دقت برازش مدل‌ها براساس متوسط شاخص‌های آماری در دماهای مختلف (سرعت 1/5 m/s)

مدل	R^2	χ^2	RMSE
نیوتن	۰/۹۹۰	۰/۰۰۰۰۰۱۲۸۶۲	۰/۰۳۴۲۷۰۱۴۹
ونگ و سینگ	۰/۹۷۳	۰/۰۸۱۲۹۱۳۹۹	۰/۲۱۵۶۷۱۰۹۶

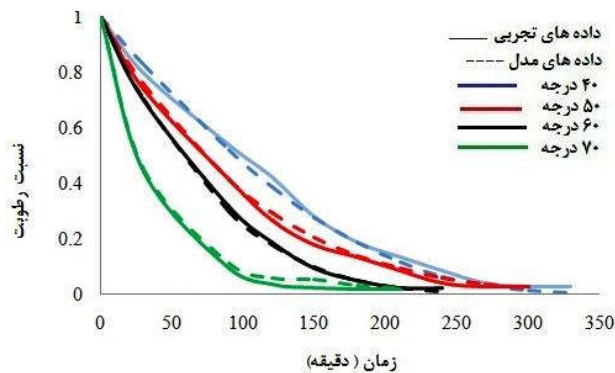


۰/۰۹۰۸۲۳۵۱۷	۰/۰۰۰۲۵۵۶۸۷۵	۰/۹۹۳	ورما و همکاران
۰/۰۳۵۸۴۳۵۹۳	۰/۰۰۰۰۰۹۶۴	۰/۹۹۸	میدیلی و همکاران
۰/۰۲۱۱۹۱۲۱۹۳	۰/۰۰۰۰۰۰۶۱۸	۰/۹۹۸	آغباشلو و همکاران

جدول ۴ مقایسه دقت برازش مدل‌ها براساس متوسط شاخص‌های آماری در دماهای مختلف (سرعت ۲ m/s)

مدل	R ²	χ ²	RMSE
نیوتن	۰/۹۸۹	۰/۰۰۰۵۷۹۳۳۶	۰/۰۳۳۹۲۱۸
ونگ و سینگ	۰/۹۶۱	۰/۰۹۹۵۴۱۳۵۸	۰/۳۳۱۵۲۴۲۹
ورما و همکاران	۰/۹۸۸	۰/۰۰۲۲۰۳۶۷۲	۰/۰۸۶۰۷۲۵
میدیلی و همکاران	۰/۹۹۹	۰/۰۰۲۴۳۷۴۴۳	۰/۰۳۷۱۸۷۷۷
آغباشلو و همکاران	۰/۹۹۸	۰/۰۰۰۲۲۰۵۲۸	۰/۰۲۱۹۸۲۹۶

می‌گردد که این مدل می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی را به خوبی پیش‌بینی کند.



شکل ۲ تغییر رطوبت در طی خشک شدن با دماهای مختلف حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های مدل آغباشلو و همکاران (سرعت ۱ m/s)

۳-۲- مقایسه اثر سرعت هوا بر روی مدت زمان خشک شدن در دماهای مختلف

به منظور بررسی اثر سرعت هوای عبوری بر مدت زمان خشک کردن، منحنی تغییرات نسبت رطوبت در برابر مدت زمان خشک کردن در دمای هوای ثابت ۶۰ درجه و در سرعت‌های مختلف هوای عبوری در شکل (۳) نشان داده شده است. همچنین منحنی دمای خشک کردن در برابر مدت زمان خشک کردن در سرعت‌های ثابت هوای عبوری در شکل (۴) آورده شده است. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که افزایش سرعت هوای ورودی از ۱ تا ۲ متربرثانیه سبب کاهش مدت زمان خشک کردن گیاه شود. این نتیجه با نتایج کرمی بر روی نعنای و پونه شریفی بر روی پرتقال و میثمی اصل برای سیب مطابقت دارد [۶، ۱۰، ۱۷، ۱۸]. همچنین با بررسی نمودارها مشخص می‌شود که در دماهای بالا تفاوت بین مدت زمان خشک کردن در سرعت‌های متفاوت قابل نظر کردن است در حالی که این تفاوت در دماهای پایین معنی‌دار است. به عبارت دیگر تاثیر سرعت هوای عبوری بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین بیشتر است. این نتیجه با نتیجه گزارش شده توسط آغباشلو و همکاران و میرزایی قلعه مطابقت دارد [۲ و ۳].

جدول ۵ مقادیر ثابت و ضرایب مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران به تفکیک دمای خشک کن (سرعت ۱ m/s)

دما (°C)	K ₁	K ₂	R ²
۴۰	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
۵۰	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۱	۰/۹۹۹
۶۰	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۹
۷۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۰/۹۹۹

جدول ۶ مقادیر ثابت و ضرایب مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران به تفکیک دمای خشک کن (سرعت ۱/۵ m/s)

دما (°C)	K ₁	K ₂	R ²
۴۰	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
۵۰	۰/۰۱۰	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
۶۰	۰/۰۱۲	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۹
۷۰	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵	۰/۹۹۸

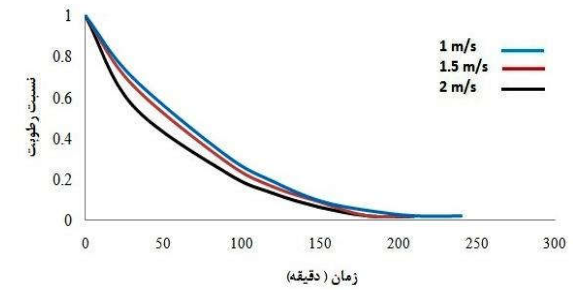
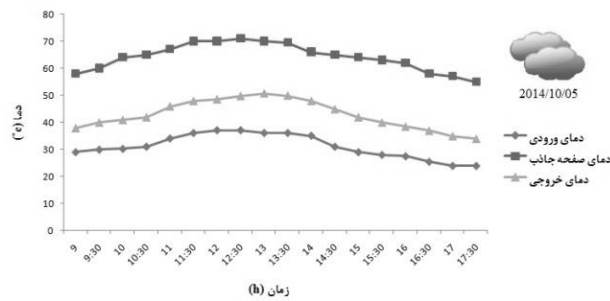
جدول ۷ مقادیر ثابت و ضرایب مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران به تفکیک دمای خشک کن (سرعت ۲ m/s)

دما (°C)	K ₁	K ₂	R ²
۴۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۷	۰/۹۹۹
۵۰	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
۶۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۸
۷۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۷	۰/۹۹۷

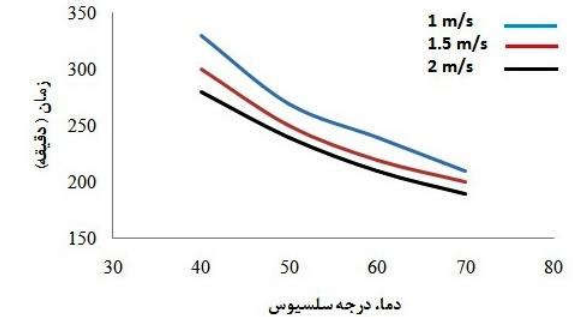
میرزایی قلعه مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران را به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی نسبت رطوبت میوه زردآلو پیشنهاد داد [۲]. منحنی خشک شدن براساس داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های حاصل از بهترین مدل، برای سرعت ۱ m/s در شکل (۲) آورده شده است. با توجه به شکل مشخص است که هرچه دمای هوای عبوری بیشتر باشد عمل خشک کردن سریع‌تر انجام می‌گیرد. که این نتیجه با نتایج سایر محققین مطابق است [۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. مطابق شکل (۲) داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های حاصل از مدل بسیار به هم نزدیک بوده به طوری که منحنی حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و منحنی حاصل از داده‌های مدل روی یکدیگر منطبق شده‌اند. با توجه به بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برتر کاملاً مشخص



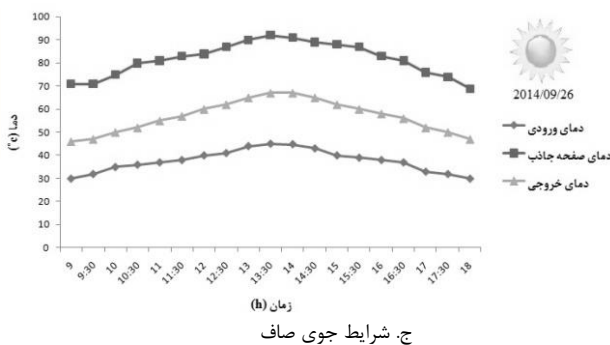
طول آزمایش اندازه گیری و ثبت شد. منحنی تغییرات این دماها برای سه شرایط جوی مطرح شده در بالا و سرعت هوای عبوری ۱/۵ متر بر ثانیه در شکل (۶) آورده شده است.



شکل ۳ تغییر رطوبت در طی خشک شدن با سرعت های مختلف هوای عبوری



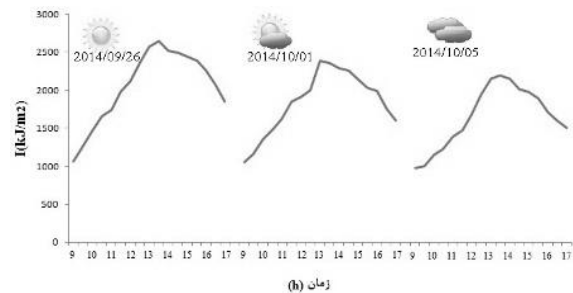
شکل ۴ منحنی دمای خشک کردن در برابر مدت زمان خشک کردن در سرعت های ثابت هوای عبوری



۳-۳- نتایج داده های خورشیدی

مقادیر میزان انرژی خورشیدی (تابش) در سطح افقی از اداره هاشناسی شهر کرمانشاه دریافت شد. مقادیر میزان انرژی خورشیدی برای سه روز با شرایط جوی مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. همان طور که از شکل پیداست، میزان تابش در یک روز کاملاً صاف بیشتر از یک روز نیمه ابری و ابری است. بر اساس نتایج بیشینه مقدار تابش در یک روز کاملاً صاف ۲۶۴۷/۵۰ کیلوژول بر متر مربع بود. این مقدار برای روزهای نیمه ابری و کاملاً ابری به ترتیب برابر ۲۳۵۸ و ۲۱۹۸ کیلوژول بر متر مربع ثبت شد. همچنین از این شکل کاملاً مشخص است که در ساعات ابتدایی میزان تابش کم بوده که در حوالی ظهر به حداکثر مقدار خود می رسد. و دوباره در ساعات پایانی روز روند نزولی داشته است. نتایج مشابهی توسط میرزایی قلعه در مورد روند تغییرات میزان تابش خورشیدی در طول روز و شرایط جوی مختلف در شهر کرج گزارش شده است [۱۹].

شکل ۶ منحنی تغییرات دمای هوای ورودی به جمع کننده، دمای صفحه جاذب و دمای هوای خروجی از جمع کننده در شرایط جوی مختلف



شکل ۵ منحنی تغییرات میزان تابش جذب شده در سه شرایط جوی مختلف

بر اساس نتایج، بیشینه دمای صفحه جاذب در یک روز کاملاً صاف برابر ۹۲ درجه سلسیوس بود (شکل ۶، ج) در حالی که این پارامتر در روزهای نیمه ابری و کاملاً ابری به ترتیب برابر ۸۶ و ۷۱ درجه بود (شکل های ۶ ب و الف) که در ساعات ظهر اتفاق افتاد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر بیشینه دمای خروجی از جمع کننده در سه شرایط جوی صاف، نیمه ابری و کاملاً ابری به ترتیب برابر ۶۷، ۶۱ و ۵۰/۷ درجه سلسیوس بود که در حوالی ظهر اتفاق افتاد. نتایج مشابه مربوط به روند تغییرات دما در طول روز توسط کرمی و همکاران گزارش شده است [۲۰]. در شکل (۷) منحنی اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی از جمع کننده برای شرایط جوی مطرح شده آورده شده است. بر اساس نتایج مشاهده شده در این شکل، میانگین افزایش دمای هوای داخل محفظه جمع کننده در طول روز برای شرایط جوی

مقادیر دمای هوای ورودی به جمع کننده، دمای صفحه جاذب و دمای هوای خروجی از جمع کننده توسط حسگرهای مربوط به دما در



- [4] P.T. Patak, Thin layer drying model for rapeseed. Transactions of The ASABE. 134 (6), 2505-2508, 1991.
- [5] Sun, D.W., and Woods, J.L. 1994. Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. Transactions of the ASABE, 137 (6), 1919-1928.
- [6] H. Karami, M. Rasekh, Y. Darvishi, and R. Khaledi, Effect of Drying Temperature and Air Velocity on the Essential Oil Content of *Mentha aquatica* L. J. Essen Oil Bear Plant., 20(4): ۱۱۳۱-۱۱۳۶, ۲۰۱۷.
- [7] V. Demir, T. Gunhan, and A.k. Yagcioglu, Mathematical modeling of convection drying of green table olives. Biosystems Engineering, 98, 47-53, 2007.
- [8] I. Doymaz, The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. Journal of Food Engineering, 79, 243-248, 2007.
- [9] K.E. Akpınar, Y. Bicar, and C. Yildiz, Thin layer drying of red pepper. Journal of Food Engineering, 59, 99-104, 2004.
- [10] H. Karami, M. Rasekh, and Y. Darvishi, Effect of temperature and air velocity on drying kinetics and organo essential oil extraction efficiency in a hybrid dryer. J. Innovative Food Technologies., 5(1): 65-75, 2017.

[۱۱] ح. کرمی، طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن هیبریدی برای گیاهان دارویی، مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی کرمانشاه، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۳.

- [12] AOAC, Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Press. Washington, DC, 1984.
- [13] E. Mirzaee, S. Rafiee, A. Keyhani, Evaluation and selection of thin-layer models for drying kinetics of apricot (cv. NASIRY). CIGR Journal, 12, No.2, 2010.
- [14] M. Aghbashlo, M. Kianmehr, and H. Samimi-Akhijahani, Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of barberries (*barberries vulgaris*). Journal of Food Process Engineering, 32(2), 278-293, 2009.
- [15] V.T. Karathanos, Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. Journal of Food Engineering, 39, 337-344, 1999.

[16] O. Yaldiz, C. Ertekin, and H. I. Uzun, Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy, ۲۶(۵), ۴۵۷-۴۶۴, ۲۰۰۱.

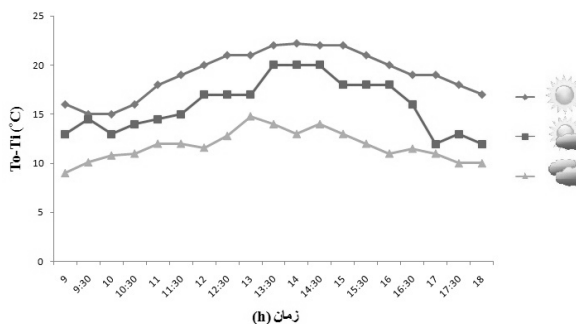
[۱۷] م. شریفی، مدل خشک کردن لایه نازک پرتقال (انواع تامسون)، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۶.

[۱۸] ا. میثمی اصل، مدل های خشک کردن لایه نازک سیب (رقم گلاب)، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۶.

[۱۹] ا. میرزایی قلعه، توسعه یک سامانه هوشمند خورشیدی مبتنی بر کنترل کننده منطق فازی جهت گرمایش آشیانه پرورش طیور مدل، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، رساله دکتری تخصصی، ۱۳۹۲.

[۲۰] ح. کرمی، ا. میرزایی قلعه، ع. ن. لرستانی، بررسی اثر سه نوع صفحه جاذب در عملکرد جمع کننده هوای صفحه تخت، نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۴.

کاملاً ابری، نیمه ابری و کاملاً صاف به ترتیب برابر ۱۱/۷۶، ۱۵/۸۹ و ۱۹/۱۱ درجه سلسیوس بود.



شکل ۷ منحنی تغییرات افزایش دمای هوا در جمع کننده در طول روز و در سه شرایط جوی مختلف

۴- نتیجه گیری

- ۱- مدل آغباشلو و همکاران منحنی خشک شدن گیاه شوید را در سرعت هوای عبوری ۱ متر بر ثانیه با شاخص آماری R^2 ، χ^2 و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۹۹، ۰/۰۰۰۰۰۰۱۵۰۳ و ۰/۰۰۰۰۰۰۰۷۴۴۸۶ نسبت به مدل های دیگر بهتر برآورد کرد.
- ۲- مدل آغباشلو و همکاران منحنی خشک شدن گیاه شوید را در سرعت هوای عبوری ۱/۵ متر بر ثانیه با شاخص آماری R^2 ، χ^2 و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۹۸، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۶۱۸ و ۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۱۹۱۲۱۹۳ نسبت به مدل های دیگر بهتر برآورد کرد.
- ۳- مدل آغباشلو و همکاران منحنی خشک شدن گیاه شوید را در سرعت هوای عبوری ۲ متر بر ثانیه با شاخص آماری R^2 ، χ^2 و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۹۸، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۵۲۸ و ۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۱۹۸۲۹۶ نسبت به مدل های دیگر بهتر برآورد کرد.
- ۴- افزایش دما و سرعت هوای عبوری باعث افزایش سرعت خشک کردن می شود.
- ۵- تاثیر سرعت هوای عبوری بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین بیشتر بود.
- ۶- بیشینه مقدار تابش در یک روز کاملاً صاف ۲۶۴۷/۵۰ کیلوژول بر متر مربع بود. این مقدار برای روزهای نیمه ابری و کاملاً ابری به ترتیب برابر ۲۳۵۸ و ۲۱۹۸ کیلوژول بر متر مربع ثبت شد.
- ۷- میانگین افزایش دمای هوای داخل محفظه جمع کننده در طول روز برای شرایط جوی کاملاً ابری، نیمه ابری و کاملاً صاف به ترتیب برابر ۱۵/۸۹، ۱۱/۷۶ و ۱۹/۱۱ درجه سلسیوس بود.

۵- منابع

- [۱] م. آغباشلو، ساخت و ارزیابی خشک کن آزمایشی نیمه مداوم برای میوه های کوچک و سبزیجات بر اساس سینتیک خشک کردن به صورت لایه نازک، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۷.
- [۲] ا. میرزایی قلعه، مدلسازی سینتیک خشک کردن لایه نازک سه رقم زردآلو، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۷.

[3] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, S. Khani, and M. Ghasemi, Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot. International Agrophysics, 23 (4), 313-317, 2009.



یک راهبرد کاهش مصرف انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه ICT کشور

جهانگیر دادخواه چیمه

استادیار، مخابرات، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران
dadkhah@itrc.ac.ir، ۰۱۴۳۹۹۵۵۴۷۱ صندوق پستی

چکیده

رشد رو به رشد جامعه و افزایش تولید ناخالص ملی مستلزم توسعه مخابرات و افزایش مصرف انرژی می باشد. توسعه مخابرات خود موجب افزایش مصرف انرژی می باشد. در ایران تقریباً ۷٪ انرژی تولیدی از نوع تجدیدپذیر می باشد که از متوسط جهانی کمتر است. اگر حداقل ۲ درصد کل انرژی الکتریکی ایران مربوط به ICT باشد انرژی الکتریکی مصرفی ICT در ایران حدود ۴۷۴۸ میلیون کیلووات ساعت است که مولد آلودگی های محیطی می باشد. در نتیجه علاوه بر لزوم توسعه انرژی های تجدیدپذیر در کشور باید اپراتورها را نیز ملزم به استفاده روز افزون از این انرژی ها نمود. در این راستا یکی از راهبردهای کاهش مصرف انرژی در شبکه های مخابراتی استفاده از تجهیزات کم مصرف یا سبز در مراکز می باشد که استانداردها و روابط آن در این مقاله ذکر شده است. راهبرد دوم در این مقاله به صورت مرحله ای می باشد که اپراتورها را در مراحل زمانی مختلف ملزم به جایگزینی انرژی های مبتنی بر سوخت های فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر کرده است.

کلید واژگان: مصرف انرژی، مراکز مخابراتی، راهبرد مرحله ای، انرژی تجدیدپذیر.



A New Energy Consumption Reduction Strategy Using Renewable Energies in the ICT Network

Jahangir Dadkhah Chimeh

Iran Telecommunication research Center, Tehran, Iran
P.O. Box 1439955471, Tehran, Iran, dadkhah@itrc.ac.ir

Abstract

Upswing trend in society GDP requires a communication development and increasing the energy consumption. Communication development, itself, incurs increasing the energy consumption. About 7% of power generation is of renewable type in Iran which is less than its average in the world. Supposing 2% of electric power in Iran consumes in ICT, we find 4748 million kwh energy consumption in ICT domain which in turn, generates environmental pollution. Thus, in addition to developing the renewable energy usage in the country, operators should be requested to use these energies more day-to-day. In line with that, using the green equipment is our first strategy for operators to consume the energy less. The second strategy is a stepwise one which requires the operators to substitute the fossil fuels with renewable energies.

Keywords: Energy Consumption, Communication centers, Renewable energy, GDP.



۱. مقدمه

فناوری ارتباطات و اطلاعات ICT نمادی سبز می باشد زیرا برای بسیاری از مشکلات محیطی مانند حمل و نقل، ارسال / دریافت مستندات و امور مالی راه حل دارد. از راه حل های شناخته شده ICT استفاده از مستندات بدون نیاز به چاپ کاغذی، ارسال نامه الکترونیکی بدون نیاز به هزینه حمل، دورکاری، دولت الکترونیک و غیره می باشد که علاوه بر کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار CO2 موجب صرفه جویی در فضای مورد استفاده و منفعت های مالی دیگر می گردد. در مقابل ICT خود موجب بروز مشکلات زیست محیطی دیگری می گردد که مصرف انرژی در تجهیزات ICT مولد بعضی از این مشکلات می باشد. اپراتورهای مخابراتی / داده ارایه دهنده سرویس های ICT می باشند که در قالب مراکز مخابراتی / داده آن سرویس ها را ارایه می نمایند. شبکه های ICT از دو بخش اصلی ثابت و رادیویی تشکیل می شوند. بخش ثابت شامل مراکز سویچ و داده و بخش رادیویی شامل ایستگاه های فرستنده/گیرنده رادیویی می باشند. همچنین کاربردها و سرویس های مخابراتی نیز نقشی مهم در این شبکه ها دارند. با تکیه بر سه مورد فوق باید قدرت مصرفی کل شبکه بیسیم و ثابت شبکه را به گونه ای کم نمود که شبکه کیفیت سرویس خود را حفظ نماید.

امروزه افزایش مصرف توان و مشکلات زیست محیطی دو معضل مهم جوامع انسانی محسوب شده و این معضلات هر روز رو به افزایش می باشند. در راستای سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی ۱۳۹۲/۱۱/۲۹ و سیاست های کلی محیط زیستی ابلاغی مقام معظم رهبری در ۱۳۹۴/۸/۲۶ و تفاهم نامه همکاری فی مابین سازمان محیط زیست و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در ۱۳۹۴/۱۲/۱۸ لزوم ایجاد یک راهبرد برای کاهش مصرف انرژی در شبکه های مخابراتی کشور تایید گردید. همچنین در راستای اجرای بند ۴۴ قانون اساسی و خصوصی سازی و حذف رایانه در زمینه مصرف انرژی لزوم کاهش مصرف انرژی در مراکز ثابت و سیار تایید گردید. یکی از موارد دیگر که اهمیت انرژی را نشان می دهد قانون اصلاح قانون مصرف انرژی مصوب ۸۹/۱۲/۴ مجلس شورای اسلامی می باشد.

خدمات اصلی اپراتورهای مخابراتی در دو حوزه ثابت و سیار ارایه می گردند و هرچند صرفه جویی در هر دو حوزه لازم می باشد اما تاکنون مصوبه یا آیین نامه ای برای کاهش مصرف انرژی اپراتورها پدید نیامده است و این مقاله در راستای ایجاد یک پیوست انرژی برای پروانه اپراتورهای مخابراتی تهیه شده است [۱].

مراکز مخابراتی / داده سهم موثری در مصرف انرژی و در نتیجه آلودگی های زیست محیطی دارند که به دو روش می توان نسبت به کاهش مصرف انرژی آنها اقدام نمود. اول طراحی بهینه شبکه های مخابراتی است که مولف در مقاله [۶] به آن پرداخته است و دوم استفاده از تجهیزات کم مصرف و منابع تغذیه تجدیدپذیر برای تامین انرژی مراکز می باشد که در این مقاله به آن می پردازیم.

سیستم تامین انرژی در یک مرکز مخابراتی شامل برق شهر، منبع تغذیه اضطراری که دیزل ژنراتور می باشد، سویچ انتقال اتوماتیک وضعیت برق مصرفی ATS که موجب کلید زنی برای تغییر منبع برق مصرفی می باشد،

UPS که یک منبع تغذیه برای شارژ باتری ها در زمان وصل برق و تامین برق مصرفی مراکز در زمان قطع برق می باشد، اطاق باتری، واحد توزیع ماژول های انرژی PDPM که وظیفه دریافت برق از شبکه اصلی و توزیع آن به نقاط مختلف را به عهده دارد و واحد توزیع توان PDU که واسط بین PDPM و مصرف کننده های اصلی در مراکز است، می باشد [۲]. در مقابل، بخش های اصلی مصرف کننده انرژی در شرکت های مخابراتی شامل سویچ ها، روترها، سرورها، BTS، BSC ها، واحدهای انتقال داده نوری، کابلی و رادیویی، واحدهای تهویه و روشنایی و سیستم های اعلان و اطفای حریق می باشند [۳]. این بخش ها در نقاط مختلف کشور / شهرها و در مراکز مخابراتی / داده نصب شده اند و در دو بخش داخل ساختمانی و بیرون ساختمانی دسته بندی می گردند. منابع مورد استفاده در این مراکز شامل منابع DC و AC می باشند که کیفیت ساخت و مواد اولیه و راندمان مناسب، قابلیت اطمینان، ماژولار بودن و در نتیجه قابلیت در اختیار داشتن توان های مختلف از خصوصیات مهم تامین این منابع می باشد. مقالات مختلفی از جمله [۴] و [۵] و [۶] به محاسبه مصرف انرژی در مراکز مخابراتی پرداخته اند.

مدیریت یکپارچه و استفاده از استاندارد مصرف انرژی از موارد مهم و قابل بررسی در ارایه راهبرد مناسب بوده و بسیار تاثیر گذار است. همچنین بررسی نقش منابع تجدیدپذیر در تامین انرژی مراکز مخابراتی و مخابرات سبز در این راهبرد حایز اهمیت می باشد. مخابرات سبز یک روش کلیدی برای رشد شبکه های مخابراتی است بطوریکه بتوان به تقابل با اثرات زیست محیطی شبکه پرداخت. در مخابرات سبز با استفاده از انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، زیست انرژی، انرژی زمین گرمایی، انرژی گرمایی و انرژی جزر و مد دریا اقدام به تولید انرژی می شود [۷]. در این رابطه باید قدرت مصرفی شبکه را به گونه ای کم نمود که شبکه کیفیت سرویس خود را حفظ نماید (نرخ داده، پوشش، تاخیر و غیره). موضوع دیگر در دسترس بودن منابع انرژی بازگشت پذیر Renewable در سایت های BS موبایل است که نقش مهمی در کاهش تولید CO2 دارد. این انرژی ها شامل باتری های خورشیدی قابل شارژ Photovoltaic (PV) و انرژی باد می باشد که با یک ژنراتور پشتیبان می تواند یک سیستم هیبرید تولید انرژی بازگشتنی را ایجاد نماید. یک سیستم هیبرید شامل یک توربین بادی، فوتو سل ها، ژنراتور دیزل، یک بانک باتری و اینورتور به عنوان سیستم پشتیبانی و مبدل DC به AC می باشد [۸ و ۹].

هدف این مقاله ارایه راهبرد برای استفاده از انرژی سبز در شبکه ICT کشور می باشد. در این راستا در بند ۲ انرژی های تجدیدپذیر و روند رشد آنها، در بند ۳ حجم شرکت های مخابراتی و میزان مصرف انرژی در آنها و وابستگی مصرف انرژی و حجم شرکت ها بررسی می گردد. در بند ۴ روابط و استانداردهای مصرف انرژی بررسی و در بند ۵ به تحلیل نتایج و استخراج راهبرد می پردازیم. در انتها نتیجه گیری بیان می گردد.

۲. انرژی های تجدیدپذیر و روند رشد آنها

انرژی های تجدیدپذیر از منابع طبیعی مانند نورخورشید، آب، باد و گرمای درون زمین بدست می آیند. این انرژی ها در مقابل انرژی های تجدیدناپذیر

همانگونه که مشاهده می شود سهم انرژی های تجدیدپذیر در دنیا کمتر از ۸ درصد و در خاورمیانه این سهم کمترین مقدار را در تولید توان داراست. به علاوه این دو شکل روند افزایشی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر را در جهان نشان می دهد.

۳. حجم شرکتهای مخابراتی در ایران

شبکه های مبتنی بر ICT سالانه بطور تقریبی موجب مصرف ۲ تا ۱۰ درصد کل انرژی الکتریکی جهان و همچنین تولید ۲٪ گاز CO2 در جهان شده و این میزان مصرف نیز هر ساله در حال ازدیاد می باشد [۱۱]. به عنوان مثال شرکت مخابراتی ایتالیا باعث ۱٪ مصرف انرژی (حدود ۲۵۰۰۰ در سال) در این کشور شده که رتبه دوم مصرف انرژی در این کشور را داراست. از طرف دیگر اپراتور ودافن انگلیس روزانه ۵۰۰۰ انرژی مصرف می کند و قصد دارد تولید CO2 خود را تا سال ۲۰۲۰ تا میزان ۵۰٪ کاهش دهد [۱۲].

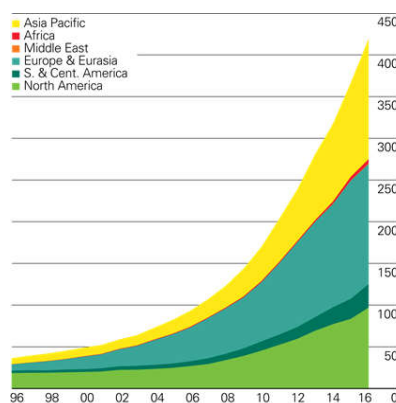
شرکت های مخابراتی در ایران شامل شرکت مخابرات استان تهران و ۳۰ اداره کل در استان ها می باشند که تعداد مشترکین آنها در سال ۱۳۹۴ به قرار جدول ۱ می باشد.

جدول ۱ تعداد مشترکین مخابراتی در ایران [۱۳]

مشترکین تلفن ثابت ۳۱ استان	۶/۳۴ میلیون مشترک
مشترکین تلفن همراه ۳۱ استان (همراه اول، ایرانسل و رایتل)	۶۷ میلیون مشترک
تعداد پورت دسترسی دیتا	۴/۶ میلیون پورت

یا فسیلی قرار داشته و در یک بازه زمانی کوتاه توسط طبیعت مجدداً ایجاد می شوند. انواع انرژی های تجدیدپذیر شامل انرژی های خورشیدی، زمین گرمایی، باد و امواج، هیدروژنی و پیل سوختی و زیست توده می باشند و در حوزه سوخت های پاک می باشند زیرا حداقل تولید CO2 را می نمایند.

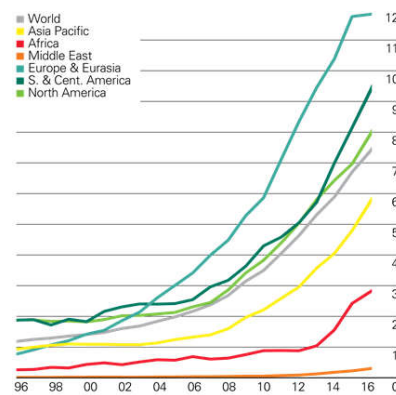
در کشور ایران بدلیل موقعیت جغرافیایی مناسب، در نقاط مختلف امکان تولید انواع انرژی های تجدیدپذیر موجود بوده و در نتیجه با صرفه جویی مصرف سوخت های فسیلی امکان صدور بیشتر آنها فراهم نیز فراهم می باشد. در جهان همه ساله میزان استفاده از سوخت های تجدیدپذیر در حال افزایش می باشد. شکل ۱ این میزان را برای نواحی مختلف جهان تا سال ۲۰۱۶ نشان می دهد.



شکل ۱ میزان استفاده از سوخت های تجدیدپذیر در نواحی مختلف [۱۰]

همانگونه که مشاهده می شود در خاورمیانه قابل مشاهده و مقایسه با دیگر نواحی در جهان نمی باشد.

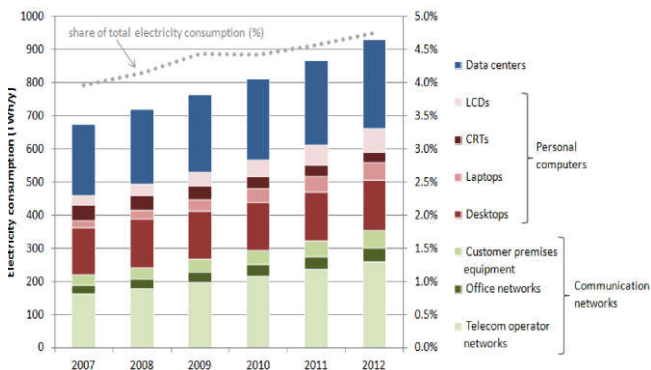
همچنین شکل ۲ درصد انرژی های تجدیدپذیر را در توان تولیدی در نواحی مختلف جهان را نشان می دهد.



شکل ۲ سهم انرژی های تجدیدپذیر را در توان تولیدی در نواحی مختلف [۱۰]

بیش از ۳۰ هزار سایت مربوط به دو اپراتور موبایل همراه اول و ایرانسل هستند و با افزودن اپراتور رایتل تعداد سایت های موبایل بیش از این می شود.

شکل ۳ مصرف انرژی در جهان برای شبکه های ارتباطی، مراکز داده و کامپیوترهای شخصی را نشان می دهد.



شکل ۳ برق مصرفی شبکه های ارتباطی، کامپیوترهای شخصی و مراکز داده در جهان [۱۴]





- استانداردهای دستیابی پهن باند ETSI SE 203 215 و ATIS-0600015.06.2013 شامل BTS 102 706 و ETSI ES 201 554
- استانداردهای هسته ETSI ES 201 554
- استانداردهای سرور ATIS-0600015.01.2009
- استاندارد سیستم-مدیریت-انرژی ISO 50001:2011 می باشد.
- و استاندارد TIA942 که مصوب کارگروه TR42.2 موسسه استانداردهای ملی امریکا ANSI می باشد مربوط به راهکارهای توزیع انرژی الکتریکی در مراکز مخابراتی است.

همچنین چهار رابطه زیر برای ارزیابی کمی مصرف برق در مراکز مخابراتی وجود دارد که اپراتورها برای ایجاد و توسعه مراکزشان باید از آنها استفاده نمایند [۲] و [۱۴].

الف- اثر استفاده از توان PUE

PUE، نسبت کل انرژی الکتریکی ورودی به یک مرکز مخابراتی به انرژی الکتریکی مورد استفاده تجهیزات ICT در آن است. یک PUE معادل دو، به معنای آن است که نیمی از برق مورد استفاده یک مرکز مخابراتی به تجهیزات ICT اختصاص یافته و سیستم‌های خنک‌کننده، روشنایی و اطفای حریق و توزیع فرعی برق نیز نیم دیگری از آن را مصرف کرده‌اند. در حقیقت، یک PUE کمتر از دو توصیه و هرچه PUE به یک نزدیک‌تر باشد، بهتر است (رابطه ۱).

$$PUE = \frac{\text{کل انرژی الکتریکی ورودی به مرکز مخابراتی}}{\text{کل انرژی الکتریکی مصرفی در تجهیزات ICT}} \quad (1)$$

ب- راندمان زیر ساخت مرکز مخابراتی DCIE

این رابطه معکوس PUE می باشد و همواره کمتر از یک است. در واقع هر چه DCIE به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است (رابطه ۲).

$$PUE = \frac{\text{کل انرژی الکتریکی مصرفی در تجهیزات ICT}}{\text{کل انرژی الکتریکی ورودی به مرکز مخابراتی}} \quad (2)$$

ج- اثر استفاده از توان سبز GPUE

GPUE اثر محیطی توان مصرفی غیر مفید در مرکز مخابراتی را نشان می دهد (رابطه ۳)

$$GPUE = G \times PUE_i$$

$$G = \sum_i (1 + W_i) \times (\text{درصد منبع انرژی } i) \quad (3)$$

در این رابطه فرض شده است که چند منبع مختلف انرژی مانند برق سراسری، دیزل ژنراتور و... ورودی مرکز مخابراتی باشند و W_i وزن کربن تولیدی هر یک از آن منابع هستند.

همانگونه که مشاهده می شود این سهم از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۲ در جهان از ۳/۴٪ تا ۴/۶٪ درصد تغییر کرده است. در این شکل شبکه های ارتباطی شامل سه جزء شبکه های اپراتوری مخابراتی، دفاتر شبکه و تجهیزات مشترکین می باشند. جدول ۲ وضعیت مصرف انرژی برق کشور در حوزه های مختلف را بر حسب میلیون کیلووات ساعت بیان می کند. اگر حداقل ۲ درصد کل انرژی الکتریکی ایران مربوط به ICT باشد مطابق جدول ۲ انرژی مصرفی ICT در ایران برابر ۴۷۴۸ میلیون کیلووات ساعت می باشد.

جدول ۲ مصرف انرژی برق کشور (میلیون کیلووات ساعت) [۱۵]

شرح	تا پایان سال ۹۵	تا پایان شهریورماه ۹۶
خانگی	۷۸۳۷۸	۴۵۹۹۸
عمومی	۲۲۹۱۴	۱۳۳۰۳
کشاورزی	۳۶۲۲۲	۲۱۶۰۴
صنعتی	۷۷۶۰۳	۴۰۸۸۳
سایر مصارف (تجاری)	۱۷۶۲۰	۹۹۲۴
روشنایی معابر	۴۷۰۰	۲۲۱۹
کل فروش	۲۳۷۴۳۶	۱۳۳۹۳۱

جدول ۳ سوخت فسیلی مصرفی نیروگاه های شبکه سراسری تا پایان آذر ۱۳۹۶ را نشان می دهد. مطابق این جدول هنوز رشد مثبتی در مصرف سوخت های فسیلی که آلاینده اصلی محیط زیست می باشند وجود دارد. بنابراین استفاده از برق شبکه سراسری به معنی ازدیاد روزافزون سوخت فسیلی بوده و این امر تغییر روش تامین انرژی در مراکز مخابراتی را تایید می کند.

جدول ۳ سوخت مصرفی نیروگاه های شبکه سراسری [۱۵]

نوع سوخت مصرفی	میزان	واحد	رشد نسبت به سال ۹۵ (درصد)
سوخت مصرفی (گاز) نیروگاهها	۵۴۱۹۸	میلیون متر مکعب	۸/۶
سوخت مصرفی (گازوئیل) نیروگاهها	۲۶۰۷	میلیون لیتر	۰/۹
سوخت مصرفی (نفت کوره) نیروگاهها	۲۳۶۳		۴/۷

۴. روابط و استانداردهای مصرف انرژی

همانگونه که ذکر گردید یکی از راهبردهای کاهش مصرف انرژی در شبکه مخابرات استفاده از تجهیزات کم مصرف یا سبز در این شبکه می باشد. در این راستا چند استاندارد زیر برای صرفه جویی انرژی در مراکز مخابراتی ارایه می گردند که اپراتورها برای ایجاد و توسعه مراکزشان باید از آنها استفاده نمایند.

- استانداردهای تجهیزات شامل ITU-T L.1000, 1001, 1100, 1200
- استاندارد ITU-T L.1300 مربوط به Best practice های کاهش اثرات مراکز داده بر آب و هوا
- استانداردهای راتر ES 203 136 و ATIS-0600015.03.2013

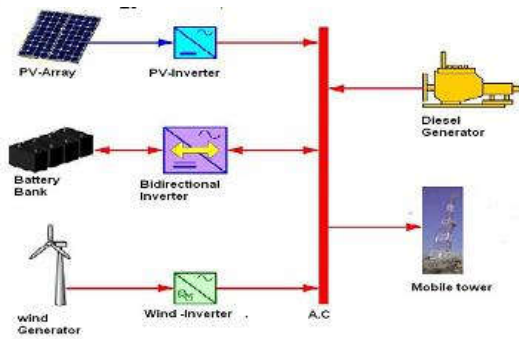
این نسبت نشان می دهد که در ایران افزایش مصرف انرژی موجب آلودگی بسیار بالا ناشی از سوخت های فسیلی در محیط می شود.

۱.۵ استفاده از منابع بازگشتنی

همانگونه که دیده شد در کشورهای با GDP بالاتر باید به مراتب از انرژی های سبز بیشتری استفاده نمود. استفاده از منابع انرژی بازگشت پذیر در مراکز مخابراتی نیز نقش مهمی در کاهش آلودگی دارد. از طرفی، قابلیت اطمینان و عدم قطع شدن شبکه های ارتباطی از پارامترهای بسیار مهم و حدود ۹۹,۹۹۹ می باشد و به این دلیل در مراکز مخابراتی بخش تامین انرژی چندگانه بوده و شامل باتری، اینورتور، دیزل ژنراتور و برق شهر می باشد. این موضوع توجه کننده سهولت جایگزینی انرژی فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر که محدود و وابسته به شرایط محیطی و با قابلیت اطمینان نسبتا پایین تری است می باشد. بنابراین سیستم هیبرید تجدیدپذیر قابل نصب در مراکز مخابراتی شامل (شکل ۴):

- یک توربین بادی
- فوتو سل ها
- ژنراتور دیزل
- یک بانک باتری و اینورتور ۲۰۰۰۰ به عنوان سیستم پشتیبانی
- و مبدل DC به AC

می باشند. تامین این منابع و همچنین هزینه نگهداری ممکن است در مرحله اول برای اپراتور هزینه اضافه ای را تحمیل نماید اما در دراز مدت این هزینه جبران پذیر می باشد.



شکل ۴ یک سیستم هیبرید سبز [۵]

۲.۵ سیستم مدیریت انرژی ISO 50001:2011

این سیستم مدیریتی ساختاریست که در یک سازمان استقرار می یابد و با طرح ریزی و سیاستگذاری اهداف کلان انرژی در سازمان و تدوین روش های اجرایی، پایش و ممیزی مصرف انرژی سازمان، امکان مدیریت و کنترل مستمر مصرف انرژی و مدیریت اجرای راهکارهای کاهش مصرف انرژی را فراهم می سازد. سیستم مدیریت انرژی ISO 50001 توسط کمیته پروژه ISO/PC 242 مدیریت انرژی، تهیه شده است و در سال ۲۰۱۱ از سوی سازمان بین المللی استاندارد سازی ISO انتشار یافته است. هدف از استاندارد ISO 50001، توانمندسازی سازمان ها به استقرار سیستم ها و فرآیندهای لازم

د- راندمان Telco

راندمان تجهیزات مخابراتی Telco یا M_T از رابطه ۴ محاسبه می شود:

$$M_T = \frac{\sum_{i=1}^K b_i}{E_{DC}} \quad (4)$$

که K تعداد سویچ ها و روترها در مرکز مخابراتی و b_i تعداد بیت های خروجی از آن تجهیزات در بازه اندازه گیری و E_{DC} کل انرژی مصرفی در پنجره مورد اندازه گیری می باشد.

علاوه بر موارد بالا توجه به این نکته لازم است که ممکن است برای کاهش مصرف انرژی اپراتورها نیاز به تغییر ساختار شبکه منصوبه داشته باشند که مولف در [۹] به آن پرداخته است.

۵. تحلیل نتایج و استخراج راهبرد

ارتباط بین مصرف انرژی، جمعیت، تولید ناخالص ملی و تولید CO2 در مقالات مختلفی از جمله مقالات [۱۶] و [۱۷] بررسی شده اند. همچنین طبق رابطه (۵) رابطه مستقیمی بین تولید ناخالص ملی GDP و اشتغال L و سرمایه گذاری در بخش ارتباطات K و مصرف انرژی EC به صورت زیر وجود دارد:

$$GDP=F(L, K, EC) \quad (5)$$

طبق این رابطه دو فاکتور سرمایه گذاری در بخش ارتباطات و مصرف انرژی باعث رشد تولید ناخالص ملی می گردد. اما این افزایش در بخش انرژی باید به گونه باشد که باعث حداقل مصرف انرژی بخصوص از نوع فسیلی گردد یعنی حداکثر استفاده از انرژی های سبز به عمل آید. از طرفی مشاهده می شود که کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی در ایران تا پایان سال ۱۳۹۶ به قرار جدول ۴ می باشد.

جدول ۴ کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی [۱۵]

ظرفیت نصب شده نیروگاهی	میزان	سهم (درصد)	رشد به سال (درصد) ۹۵
بخاری	۱۵۸۲۹	۳۰/۲	۰
گازی	۲۷۵۳۲	۳۵/۴	۲/۱
چرخه ترکیبی	۲۰۲۷۰	۲۵/۹	۴/۱
برق آبی	۱۱۸۱۱	۱۵/۰	۲/۶
اتمی	۱۰۴۰	۱/۳	۰
تولید پراکنده (DG, CHP)	۱۱۰۹	۱/۴	۲۱/۱
انرژی های تجدید پذیر	۳۲۲	۰/۴	۲۲/۰
دیزلی	۴۳۹	۰/۶	۰

مطابق جدول ۴ قدرت عملی شبکه سراسری در حوزه حرارتی و اتمی برابر ۴۴۹۰۹ میلیون وات ساعت و این قدرت برای انرژی های سبز تنها برابر ۳۲۲ میلیون وات ساعت می باشد که نسبت آنها کمتر از ۰/۷ درصد می باشد و

[9] J. Dadkhah Chimeh, A Novel Algorithm for Evolution to Green Communications, 19th International Conference on Communications, 2015.

[10] British Petroleum Statistical Review of World Energy, 2017.

[11] K. Kawamoto, J. G. Koomey et al., Electricity Used by Office Equipment and Network Equipment in the U.S.: Detailed Report and Appendices, LBNL-45917, 2001.

[12] A. Baumgartner, T. Bauschert, Greening cellular radio networks: A numerical method for selection of detachable base stations in low traffic scenarios, *TIWDC*, 2013.

[۱۳] مستخرج از سایت شرکت مخابرات ایران www.tci.ir

[۱۴] B. Lannoo, S. Lambert, W. V. Heddeghem et al., Overview of ICT energy consumption, *FP7-2۸۸۰۲۱ – ۰۰۰۰۰ ۰۰۰۰۰ ۰۰۰۰۰*, 2013.

[۱۵] معاونت برنامه ریزی و اقتصادی وزارت نیرو، گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق، بولتن شماره ۵، ۱۳۹۶.

[۱۶] ا. دهقانی، بررسی تاثیر سرمایه گذاری ارتباطات بر رشد اقتصادی ایران، سایت شرکت مخابرات ایران، ۱۳۹۴.

[۱۷] م. سلیمانی بیشک و مصطفی شگری، کاظم عابدزاده، بررسی عوامل اقتصادی موثر بر انتشار گاز در اکسید کربن در ایران، نشریه انرژی ایران، ۱۳۹۶.

جدول کلمات اختصاری:

اختصار	شرح
ATS	Automatic Transfer Switch
BS	Base Station
ICT	Information & Communication Technology
UPS	Uninterrupted Power Supply
PDPM	Modular PDU
PDU	Power Distribution Unit
BTS	Base Transceiver System
BSC	Base Station Controller
PV	Photovoltaic
PUE	Power Usage Effectiveness
DCIE	Data Center Infrastructure Efficiency
GPUE	Green PUE
GDP	Gross Domestic Product

برای بهبود عملکرد انرژی شامل کارایی، بهره برداری و مصرف انرژی است. پیاده سازی استاندارد بین المللی ISO 50001 جهت کاهش تصاعد گازهای گلخانه ای و دیگر پیامدهای زیست محیطی و کاهش هزینه انرژی از طریق مدیریت سیستماتیک انرژی در نظر گرفته شده است. هرچند این استاندارد بین المللی برای انواع سازمان ها در اندازه های مختلف صرفنظر از شرایط جغرافیایی، فرهنگی یا اجتماعی قابل کاربرد است اما برای اپراتورهای مخابراتی و داده بسیار کاربردی می باشد. از روابط و استانداردهای ذکر شده در بند ۴ می توان در این سیستم مدیریت انرژی استفاده نمود.

۶. نتیجه گیری

افزایش مصرف انرژی و آلودگی های زیست محیطی در یک جامعه رو به رشد اجتناب ناپذیر است. از طرف دیگر مصوبات قانونی در مورد انرژی و آلودگی های زیست محیطی حرکت به سمت کاهش مصرف سوخت و آلودگی های زیست محیطی را الزامی می کند. یکی از نمادهای سبز که برای رشد جامعه و کاهش آلودگی ها مهم می باشد ICT می باشد که خود مصرف کننده انرژی و مولد آلودگی های زیست محیطی است. در نتیجه اپراتورهای ICT باید ضمن استفاده از تجهیزات کم مصرف و سبز، انرژی های تجدیدپذیر را جایگزین انرژی های فسیلی نمایند. در این راستا، باید پیوست انرژی از جانب نهاد حاکمیتی ICT تهیه گردیده و اجرای آن را به صورت مرحله ای به اپراتورها محول نماید به طوریکه در طی زمان معینی در مراکز مخابراتی / داده بجای انرژی فسیلی از انرژی های تجدید پذیر استفاده گردد. با توجه به وجود ساختار چندگانه تامین انرژی در این مراکز، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در آنها کاملا منطقی می باشد.

۷. مراجع

- [۱] بخش اسناد سایت سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی www.cra.ir
- [۲] ا. امام جمعه، توزیع انرژی الکتریکی در مراکز داده بر پایه TIA942، ماهنامه شبکه ۱۸۵، سال ۱۳۹۵.
- [3] NTT, Technical Requirements for power-supply interface of communications equipment, *TR No. 176001-1.1*, 2۰۱۵.
- [4] C. Lange, R. Weidman, Energy Consumption of Telecommunication Networks and Related Improvement Options, *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS*, VOL. 17, NO. 2, MARCH/APRIL 2011.
- [5] K. Kawamoto et al., Electricity Used by Office Equipment and Network Equipment in the U.S.: Detailed Report and Appendices, LBNL-45917, 2001.
- [6] J. D. Mitchell-Jackson, ENERGY NEEDS IN AN INTERNET ECONOMY: A CLOSER LOOK AT DATA CENTERS, Master Thesis of the University of California, Berkeley, 2001.
- [۷] ل. صیدآبادی و دیگران، امکانسنجی فنی-اقتصادی استفاده از منابع تجدیدپذیر به منظور تامین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته مناطق روستایی دورافتاده، فصل نامه علمی - ترویجی انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۱۳۹۶.
- [8] P. Nema, S. Rangnekar, R. K. Nema, Pre-feasibility study of PV-Solar/Wind hybrid energy system for GSM type mobile telephony base station in central India, *ICCAE*, 2010.

