

Electric Vehicle Charge Cycle Management System.....

نام دانشجو: حسین حاتمی

چکیده

در این مقاله، یک سیستم مدیریت چرخه شارژ (CCMS) برای طرح قیمت‌گذاری لحظه‌ای (RTP) شرکت ComEd معرفی شده است. این سیستم یک سامانه تعبیه‌شده برای یک شارژر هوشمند خودروی الکتریکی (EV) است. به عنوان یک سیستم مدیریت انرژی، این سیستم به دنبال کاهش هزینه چرخه شارژ بر حسب کیلووات‌ساعت است. مدیریت چرخه شارژ در سه مرحله انجام می‌شود:

۱. پیش‌بینی قیمت‌ها در طول بازه زمانی موجود از طریق یک مدل روند و فصلی.
 ۲. یافتن ترکیب بهینه بازه‌های زمانی با کمترین قیمت با استفاده از الگوریتم مرتب‌سازی درج مستقیم.
 ۳. اجرای ترکیب برنامه‌ریزی‌شده با اعمال تنظیمات احتمالی در زمان اجرا بر اساس قیمت لحظه‌ای.
- عملکرد الگوریتم در یک مطالعه شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است که در آن، روال روزانه و رفتار رانندگی کاربر به صورت تصادفی مدل‌سازی شده و از داده‌های تاریخی RTP شرکت ComEd استفاده شده است.

۱. مقدمه

تعادل بین توان تولیدی و مصرفی در شبکه توزیع، یک مسئله حیاتی برای قابلیت اطمینان شبکه است. با این حال، تقاضای برق در طول زمان متغیر است و ممکن است افزایش‌های ناگهانی یا افت‌های شدید داشته باشد. همچنین، مقدار توان الکتریکی موجود بسته به منابع تولید، در طول زمان متغیر است. علاوه بر این،

منابع تولید برق انعطاف‌پذیری عملیاتی متفاوتی دارند، که مدیریت تولید برق را برای دستیابی به این تعادل دشوار می‌سازد.

افزایش روزافزون استفاده از خودروهای الکتریکی (EVs) تأثیر چشمگیری بر شبکه برق دارد، زیرا فرآیندهای شارژ آن‌ها نیاز به انرژی الکتریکی زیادی دارد. در صورتی که فرآیندهای شارژ به‌طور هماهنگ مدیریت نشوند، ممکن است منجر به افزایش ناگهانی و نامطلوب تقاضا شوند. مدیریت سمت تقاضا (DSM) یک راهکار قابل اجرا است که شامل استفاده از انعطاف‌پذیری عملیاتی برخی از بارها، مانند خودروهای الکتریکی، می‌شود. تقاضا را می‌توان از طریق ارائه مشوق‌های اقتصادی به مصرف‌کنندگان تنظیم کرد تا آن‌ها را تشویق کند مصرف خود را در مواقع ضروری کاهش یا افزایش دهند.

روش‌های مدیریت سمت تقاضا (DSM)

استراتژی‌های DSM بسته به رویکردشان به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. کنترل مستقیم بار (DLC)

۲. طرح‌های قیمت‌گذاری متغیر

برنامه‌های DLC بر اساس قراردادهایی هستند که در آن، مشتریان به اپراتورهای شبکه اجازه می‌دهند در مواقع اضطراری یا اوج مصرف، برخی از بارهای آن‌ها را خاموش کنند. در عوض، مشتریان جبران مالی دریافت می‌کنند. اما در شبکه‌های دارای تعداد زیادی مشترک، این برنامه‌ها نیاز به یک سیستم کنترل متمرکز با الزامات پیچیده ارتباطی و محاسباتی دارند.

در مقابل، طرح‌های قیمت‌گذاری متغیر نیازی به چنین زیرساختی ندارند، زیرا مشتریان به‌طور خودکار مصرف خود را بر اساس قیمت تعیین‌شده در بازار عمده‌فروشی تنظیم می‌کنند. در بازارهای لحظه‌ای انرژی، قیمت‌ها به‌صورت لحظه‌ای تعیین شده و تقریباً بلافاصله در دسترس عموم قرار می‌گیرند. اما واکنش مصرف‌کنندگان به قیمت‌های لحظه‌ای معمولاً بلافاصله نیست، زیرا به مدیریت مصرف آن‌ها بستگی دارد.

برای بهره‌برداری از انعطاف‌پذیری عملیاتی برخی از بارها مانند خودروهای الکتریکی، لازم است دستگاه‌های هوشمند و مکانیزم‌هایی با نیازهای ارتباطی و محاسباتی کم پیاده‌سازی شوند تا مصرف برق به‌صورت خودکار بر اساس سیگنال‌های قیمت‌گذاری لحظه‌ای (RTP) مدیریت شود. این پروژه دقیقاً به همین نیاز پاسخ می‌دهد. در این مقاله، طراحی یک سیستم مدیریت چرخه شارژ مبتنی بر اینترنت اشیا (CCMS) ارائه شده است که می‌تواند در یک شارژر هوشمند خودروی الکتریکی ادغام شود تا مصرف انرژی در فرآیند شارژ را به‌صورت خودکار و بر اساس سیگنال RTP مدیریت کند.

برخی از راهکارهای پیشنهادی IoT در این حوزه:

یک الگوریتم آنلاین توزیع شده برای تخصیص بهینه انرژی در زمان واقعی پیشنهاد شده است. در این روش، هر کاربر یک کنتور هوشمند نصب می کند تا اپراتور شبکه بتواند مصرف انرژی دستگاه های الکتریکی را کنترل کند.

مدیریت انرژی و کاهش تقاضا از طریق پیش بینی تقاضای انرژی برای هر مصرف کننده بر اساس تحلیل سری های زمانی انجام می شود. داده های تاریخی مصرف کنندگان در یک شبکه IoT-Fog جمع آوری و پردازش می شود.

سیستم مدیریت چرخه شارژ خودروی الکتریکی برای طرح قیمت گذاری لحظه ای ComEd: یک راه حل مبتنی بر اینترنت اشیا

۱. معرفی مقاله

این مقاله یک راهکار مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) برای مدیریت چرخه شارژ خودروهای الکتریکی (EV) تحت طرح قیمت گذاری لحظه ای (RTP) شرکت ComEd ارائه می دهد. معماری پیشنهادی شامل واحدهای پایش مشتری، یک سرور پایگاه داده، و یک کنترل کننده پاسخگویی به تقاضا (DSM) است که در آن، استراتژی مدیریت سمت تقاضا به صورت متمرکز اجرا می شود.

مهم ترین دستاورد مقاله:

توسعه یک سیستم مدیریت چرخه شارژ (CCMS) به عنوان یک راهکار DSM مبتنی بر IoT برای شارژر هوشمند خودروهای الکتریکی.

این سیستم به طور خودکار و لحظه ای، چرخه شارژ را در واکنش به سیگنال قیمت گذاری لحظه ای (RTP) شرکت ComEd مدیریت می کند.

برخلاف رویکردهای دیگر که نیاز به شبکه های پیچیده دارند، این روش تنها به یک نقطه دسترسی اینترنت خانگی نیاز دارد.

کاربران خودروهای الکتریکی نیازی به اشتراک گذاری داده های مربوط به الگوی مصرف خود ندارند.

ساختار مقاله:

بخش I: تحلیل سیگنال قیمت گذاری لحظه‌ای ComEd

بخش III: مدل سازی سیگنال RTP شرکت ComEd

بخش IV: معماری سیستم پیشنهادی CCMS

بخش V: الگوریتم پیشنهادی مدیریت چرخه شارژ (CCMA)

بخش VI: ارزیابی عملکرد الگوریتم در یک مطالعه شبیه سازی

بخش VII: ارزیابی آزمایشی سیستم پیشنهادی

بخش VIII: نتیجه گیری و کارهای آینده

۲. تحلیل سیگنال قیمت گذاری لحظه‌ای ComEd

در طرح RTP، قیمت برق به صورت لحظه‌ای در بازار عمده فروشی تعیین می شود تا تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی حفظ شود. هرچند که کاربران نهایی در این بازار حضور ندارند، اما تقاضای آنها توسط خرده فروشان برق جمع می شود. از آنجا که قیمت برق فقط برای بازه زمانی فعلی تعیین می شود، لازم است که قیمت های آینده پیش بینی شوند تا امکان برنامه ریزی مصرف برق و چرخه شارژ خودروهای الکتریکی فراهم شود.

در این مقاله، شرکت ComEd به عنوان تأمین کننده برق در بازار عمده فروشی PJM در نظر گرفته شده است. برای مدیریت بهینه چرخه شارژ خودروهای الکتریکی، پیش بینی سیگنال قیمت گذاری لحظه‌ای (RTP) ضروری است.

الگوی روزانه قیمت برق ComEd

شکل ۱ الگوی روزانه میانگین قیمت برق را نشان می دهد.

بیشترین قیمت ها در بازه های زمانی اوج تقاضا رخ می دهند.

کمترین قیمت ها در بازه های کمترین تقاضا مشاهده می شوند.

این نوسانات به فصل سال بستگی دارند، درحالی که تأثیر روزهای هفته بر قیمت کمتر است.

این الگو از داده های تاریخی قیمت شرکت ComEd که از طریق API این شرکت در دسترس است، استخراج شده است.

۳. مدل سازی سیگنال قیمت گذاری لحظه ای ComEd

برای پیش بینی قیمت برق در بازه های آتی، نیاز است که قیمت های گذشته مورد تحلیل قرار گیرند. در این راستا، ضریب همبستگی پیرسون بین الگوهای قیمت روز جاری و روزهای قبل محاسبه شده است.

تعیین روزهای مرتبط برای پیش بینی قیمت برق

از داده های تاریخی شرکت ComEd بین سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است.

قیمت ها در بازه های ۵ دقیقه ای ثبت شده اند (هر روز شامل ۲۸۸ بازه زمانی است).

برای هر روز، همبستگی با ۱۶ روز گذشته محاسبه شده است.

شکل ۲ نشان می دهد که همبستگی قیمت یک روز با روزهای گذشته چگونه تغییر می کند.

جدول ۱ نشان می دهد که برای هر روز هفته، کدام روز گذشته بیشترین همبستگی را با آن دارد

معماری سیستم مدیریت چرخه شارژ (Charge Cycle Management System Architecture)

برای مدیریت چرخه شارژ در زمان واقعی و به صورت خودکار، سیستم CCMS به عنوان یک کاربرد از مفهوم اینترنت اشیا (IoT) پیشنهاد شده است. این سیستم به عنوان یک سامانه تعبیه شده (embedded system) برای یک شارژر هوشمند عمل می کند و از طریق ماژول Wi-Fi و IoT CC3200 شرکت Texas Instruments (TI) به اینترنت متصل می شود.

جزئیات سخت افزاری سیستم CCMS:

سامانه CCMS در داخل میکروکنترلر TI MSP430F5529 تعبیه شده است.

تعامل با کاربر خودرو الکتریکی از طریق یک صفحه نمایش لمسی K350QVG و نمایشگر رنگی انجام می شود.

نمایشگر K350QVG از طریق SPI به میکروکنترلر MSP430F5529 متصل شده و صفحه نمایش لمسی مقاومتی آن با استفاده از ADC کنترل می شود.

ارتباط بین میکروکنترلر MSP430F5529 و ماژول CC3200 از طریق UART برقرار می شود.

ارتباطات شبکه ای سیستم CCMS:

ماژول CC3200 به عنوان یک Wi-Fi Station (STA) پیکربندی شده و از طریق یک نقطه دسترسی (Wi-Fi AP) در شبکه محلی کاربر به اینترنت متصل می شود.

داده‌های قیمت برق از سرور ComEd Price Server از طریق پروتکل HTTP بازیابی می‌شود، که بر اساس API ComEd 5-Min Price Data کار می‌کند.

برای هماهنگی فرآیند مدیریت چرخه شارژ، زمان از طریق پروتکل NTP از سرور زمان دریافت می‌شود. شکل ۵(a) معماری سخت‌افزاری سیستم و شکل ۵(b) معماری شبکه‌ای آن را نشان می‌دهد. در نهایت، شکل ۶ تعاملات سیستم CCMS را با کاربر خودرو الکتریکی، اجزای سخت‌افزاری، سرورهای HTTP و NTP در حین اجرای فرآیند مدیریت چرخه شارژ نمایش می‌دهد.

الگوریتم مدیریت چرخه شارژ خودروهای الکتریکی

مدیریت فرآیند چرخه شارژ

شکل ۶ نشان‌دهنده دیاگرام توالی فرآیند مدیریت چرخه شارژ است که شامل مراحل زیر می‌شود:

۱. دریافت اطلاعات کاربر خودرو الکتریکی (EV User) و تنظیم مقادیر اولیه.
۲. برقراری ارتباط با سرور قیمت ComEd از طریق پروتکل HTTP برای دریافت داده‌های قیمت برق.
۳. به‌روزرسانی مقدار SoC (State of Charge) باتوجه به قیمت‌های دریافت‌شده و اجرای چرخه شارژ.
۴. اجرای حلقه پردازش اصلی که شامل دریافت داده‌های قیمت و تنظیم میزان شارژ باتوجه به اولویت‌های کاربر است.

دیاگرام حالات سیستم CCMS

شکل ۷ نشان‌دهنده نمایش دیاگرام حالات برای مدیریت چرخه شارژ خودروهای الکتریکی (CCMA) است. این دیاگرام شامل چهار حالت کلیدی است:

۱. پیش‌بینی قیمت انرژی:

فرآیند با دریافت سیگنال قیمت برق آغاز می‌شود.

سیستم از داده‌های تاریخی قیمت برق برای پیش‌بینی روند قیمت آینده استفاده می‌کند.

۲. برنامه‌ریزی چرخه شارژ:

پس از دریافت سیگنال‌های قیمت، برنامه‌ریزی برای زمان‌های بهینه شارژ انجام می‌شود. سیستم با تحلیل هزینه‌های انرژی، ترکیب بهینه‌ای از بازه‌های قیمتی را تعیین می‌کند.

۳. اجرای چرخه شارژ:

خودرو بر اساس برنامه‌ریزی انجام‌شده، فرآیند شارژ را آغاز می‌کند. در حین شارژ، سیستم می‌تواند تنظیمات را در زمان واقعی تغییر دهد.

۴. به‌روزرسانی و تطبیق چرخه شارژ:

در صورت تغییرات در قیمت‌ها یا تنظیمات کاربر، فرآیند به‌روزرسانی شده و مجدداً اجرا می‌شود.

الگوریتم‌های کلیدی در سیستم مدیریت چرخه شارژ

الف) الگوریتم پیش‌بینی قیمت برق (Price Signal Forecasting)

هدف از این الگوریتم، پیش‌بینی سیگنال قیمت در بازه زمانی در دسترس برای اجرای چرخه شارژ است. این الگوریتم مراحل زیر را طی می‌کند:

۱. دریافت اطلاعات زمان حرکت (Tdep) از کاربر خودرو الکتریکی و زمان ورود از سرور NTP

۲. محاسبه تعداد بازه‌های قیمتی در دسترس (Tin)

۳. بازیابی قیمت‌های قبلی ($y[k - jN]$) برای $-N \leq k < 0$ از سرور ComEd

۴. محاسبه قیمت‌های پیش‌بینی‌شده ($y[k]$) برای $k \geq 0$ بر اساس مدل RTP شرکت ComEd

ب) الگوریتم برنامه‌ریزی چرخه شارژ (Charge Cycle Scheduling Algorithm)

این الگوریتم به دنبال یافتن کم‌هزینه‌ترین بازه‌های قیمتی برای اجرای شارژ است. فرآیند برنامه‌ریزی شامل موارد زیر است:

۱. تعیین تعداد بازه‌های موردنیاز برای رسیدن به SoCf (سطح نهایی شارژ موردنظر کاربر)

۲. یافتن ترکیبی از بازه‌های قیمتی که کمترین هزینه را برای شارژ هر kWh دارند

ج) الگوریتم اجرای چرخه شارژ در زمان واقعی (Charge Cycle Real-Time Execution Algorithm)

پس از برنامه‌ریزی بازه‌های قیمتی، سیستم وارد حالت اجرای چرخه شارژ می‌شود که بیشتر زمان اجرای سیستم در این مرحله سپری می‌شود. در این حالت:

ترکیب برنامه‌ریزی شده از بازه‌های قیمتی اجرا می‌شود.

سیستم در صورت نیاز تنظیمات را بر اساس تغییرات قیمت یا اولویت‌های کاربر به‌روزرسانی می‌کند.

بهینه‌سازی اجرای چرخه شارژ خودروهای الکتریکی در زمان واقعی

۱. مدیریت اجرا و تنظیم در لحظه چرخه شارژ

تنظیم ترکیب شارژ در زمان واقعی

اگر در زمان اجرای چرخه شارژ، قیمت‌های پیش‌بینی شده $y[k]$ با مقدار واقعی انحراف داشته باشند، ممکن است قیمت‌های خارج از محدوده (Outlier Prices) ظاهر شوند. این مسئله به علت خطاهای پیش‌بینی رخ می‌دهد.

اصلاح قیمت‌های خارج از محدوده

۱. اگر قیمت فعلی پایین‌تر از حد معمول باشد و در ترکیب اولیه در نظر گرفته نشده باشد، به ترکیب اضافه خواهد شد

۲. اگر قیمت فعلی بالاتر از حد معمول باشد، حتی اگر در ترکیب برنامه‌ریزی شده وجود داشته باشد، از برنامه حذف خواهد شد.

برای شناسایی قیمت‌های خارج از محدوده، ابتدا میانگین و واریانس [محاسبه شده و سپس انحراف تعیین می‌شود]

قیمت‌های خارج از محدوده بالا، آن‌هایی هستند که چندین برابر انحراف معیار بالاتر از میانگین قیمت باشند. همچنین، قیمت‌های خارج از محدوده پایین، آن‌هایی هستند که چندین برابر انحراف معیار پایین‌تر از میانگین قیمت باشند.

برای تعیین حد آستانه شناسایی، یک تابع تنظیم $y[k]$ تعریف می‌شود:

۳. بررسی عملکرد CCMA در شرایط شبیه‌سازی شده

الف) سناریوی شبیه‌سازی

شکل ۹ سناریوی شبیه‌سازی اجرا شده برای ارزیابی عملکرد سیستم CCMA را نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی، چهار سناریوی مختلف برای بررسی عملکرد مدیریت چرخه شارژ در شرایط مختلف در نظر گرفته شده است.

(ب) ارزیابی نتایج شبیه‌سازی

سیستم توانست بیشترین میزان صرفه‌جویی در هزینه انرژی را از طریق انتخاب بازه‌های کم‌هزینه فراهم کند.

مقدار خطای SoC در زمان اجرای واقعی نسبت به مقدار برنامه‌ریزی شده حداقل بود، که نشان از دقت بالا در تنظیم ترکیب شارژ دارد.

الگوریتم شناسایی قیمت‌های خارج از محدوده توانست با موفقیت قیمت‌های پایین را به ترکیب اضافه و قیمت‌های بالا را حذف کند که منجر به کاهش هزینه شارژ شد.

بررسی عملکرد سیستم مدیریت چرخه شارژ خودروهای الکتریکی (CCMA)

۱. آزمایش‌های شبیه‌سازی و تنظیمات ورودی

۳۱۰۰ آزمایش شبیه‌سازی با روش شارژ توان ثابت انجام شده است. در تمامی این آزمایش‌ها، متغیرهای ورودی ثابت شامل موارد زیر هستند:

توان نامی شارژ: (PN) ۱۰ کیلووات

راندمان شارژ: $0.85(n)$

ظرفیت باتری: (C) ۸۰ کیلووات‌ساعت

بازه زمانی قیمت‌گذاری: (T) ۵ دقیقه

شارژ نهایی مطلوب: (SoCf) ۱۰۰٪

همچنین، برخی متغیرهای ورودی تصادفی شامل میزان شارژ اولیه (SoCi)، زمان ورود (Tarr) و زمان خروج (Tdep) در نظر گرفته شده‌اند. داده‌های قیمت برق نیز از ComEd استخراج شده است.

۲. بررسی چهار سناریوی اصلی در شبیه‌سازی

برای هر آزمایش، چهار سناریوی مختلف از نظر نحوه مدیریت قیمت‌گذاری و اجرای شارژ در نظر گرفته شده است:

۱. حالت بهینه:

۲. سیگنال قیمت واقعی از ابتدا در دسترس است.

ترکیب بهینه بازه‌های قیمتی تعیین شده و هزینه بهینه هر کیلووات‌ساعت محاسبه می‌شود.

۲. عدم مدیریت چرخه شارژ:

هیچ پاسخی به تغییرات قیمت داده نمی‌شود.

تمامی بازه‌های قیمتی برای شارژ استفاده می‌شوند.

هزینه هر کیلووات‌ساعت محاسبه می‌شود.

۳. اجرای ترکیب برنامه‌ریزی شده بدون تنظیم در لحظه:

ترکیب برنامه‌ریزی شده اجرا شده، اما در طول اجرا تغییری داده نمی‌شود.

هزینه هر کیلووات‌ساعت محاسبه می‌شود.

۴. اجرای ترکیب برنامه‌ریزی شده با تنظیم در لحظه:

ترکیب اولیه شارژ اجرا شده اما در صورت تغییرات قیمت، تنظیمات اصلاح می‌شوند

هزینه هر کیلووات‌ساعت (Y_a) محاسبه می‌شود.

۳. متغیرهای خروجی و ارزیابی عملکرد

(الف) هزینه انرژی مصرفی

هزینه هر کیلووات‌ساعت برای چهار سناریوی فوق (محاسبه شده است).

(ب) میزان انحراف در شارژ نهایی باتری

اجرای ترکیب شارژ برنامه‌ریزی شده با تنظیمات لحظه‌ای ممکن است باعث شود که شارژ نهایی باتری به

مقدار ایده‌آل خود نرسد.

۴. مدل‌های تصادفی برای رفتار کاربران خودروهای الکتریکی

رفتار کاربران خودروهای الکتریکی در دو بخش مدل‌سازی شده است:

(الف) مدل رفتار رانندگی کاربران EV

میزان شارژ اولیه Soc_i وابسته به رفتار رانندگی است. چهار مدل توزیع احتمالی برای آن در نظر گرفته شده

است:

۱. توزیع نرمال:

میانگین $\mu = 0.5$ و انحراف معیار $\sigma = 0.1$

۲. توزیع یکنواخت:

مقدار SoCi بین ۰.۲ تا ۰.۸ متغیر است.

۳. توزیع نمایی:

پارامتر $\lambda = 2$ تعیین شده است.

۴. توزیع رایسیان:

پارامتر عدم مرکزی $v = 0$ و مقیاس $\sigma = 0.3$ در نظر گرفته شده‌اند.

(ب) مدل رفتار روزانه کاربران EV

توزیع زمان ورود ($Tarr$) وابسته به زمان خروج ($Tdep$) است.

مدل احتمال شرطی برای تعیین رابطه بین این دو متغیر استفاده شده است.

توزیع $Tdep$ با استفاده از توزیع کای دو (χ^2) مدل‌سازی شده است.

برای هر مقدار $Tdep, i$ ، توزیع $Tarr$ به صورت نرمال در نظر گرفته شده است.

۳۱۰۰ نمونه تصادفی ($Tarr, Tdep$) برای شبیه‌سازی تولید شده که در شکل ۱۰ نمایش داده شده‌اند.

۵. نتیجه‌گیری و تحلیل عملکرد CCMA

مدیریت چرخه شارژ خودروهای الکتریکی با تنظیمات لحظه‌ای (CCMA) باعث صرفه‌جویی بیشتر در

هزینه‌ها نسبت به سناریوهای ثابت و بدون تنظیم شده است.

اجرای ترکیب برنامه‌ریزی شده با تنظیم لحظه‌ای نسبت به اجرای بدون تنظیم، صرفه‌جویی بیشتری ایجاد کرده است.

درصد خطای Soc در شارژ نهایی پایین بوده و در محدوده قابل قبولی قرار داشته است.

با استفاده از مدل‌های تصادفی مناسب، رفتار واقعی کاربران EV در شبیه‌سازی لحاظ شده و نتایج حاصل، قابل تعمیم به شرایط واقعی است.

نتایج شبیه‌سازی

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم (با و بدون تنظیمات)، میانگین صرفه‌جویی درصدی برای تمامی مدل‌های سیگنال قیمت پیشنهادی مقایسه شده است. خلاصه نتایج شبیه‌سازی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. صرفه‌جویی درصدی به رفتار رانندگی کاربر بستگی دارد و زمانی بیشتر است که SoC به‌طور معمول یا یکنواخت توزیع شده باشد. همانطور که در شکل ۱۱(a) نشان داده شده است، زمانی که مدیریت چرخه شارژ طبق ترکیب زمان‌بندی شده انجام می‌شود، میانگین صرفه‌جویی درصدی برای تمامی مدل‌های سیگنال قیمت قابل توجه است، اما کمتر از بهینه است. بزرگترین صرفه‌جویی درصدی زمانی به‌دست می‌آید که پیش‌بینی سیگنال قیمت با استفاده از مدل WLS-SMA برای هر رفتار رانندگی در نظر گرفته شده انجام شود. از طرفی، همانطور که در شکل ۱۱(b) نشان داده شده است، زمانی که مدیریت چرخه شارژ با تنظیمات بر روی ترکیب زمان‌بندی شده در زمان اجرا انجام می‌شود، میانگین صرفه‌جویی درصدی به‌دست‌آمده برای تمامی مدل‌های سیگنال قیمت به بهینه‌تر نزدیک می‌شود و حتی زمانی که رفتار رانندگی به‌صورت نمایی یا ریشیانی توزیع شده باشد، بیشتر از بهینه می‌شود. بزرگترین صرفه‌جویی درصدی زمانی به‌دست می‌آید که پیش‌بینی سیگنال قیمت با استفاده از مدل OLS-ES برای هر رفتار رانندگی انجام شود. اگرچه تنظیمات در زمان اجرا می‌تواند منجر به صرفه‌جویی درصدی بیشتر از مقدار بهینه شود، اما ممکن است تأثیراتی بر روی SoC نهایی که در پایان فرآیند شارژ به‌دست می‌آید، بگذارد. این تأثیرات با استفاده از خطای SoC درصدی (ems) که به‌صورت معادله (۲۳) محاسبه می‌شود، نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۱(c) نشان داده شده است، میانگین خطای SoC بیشتر است زمانی که کاربر احتمالاً فرآیند شارژ را با SoC پایین آغاز می‌کند، یعنی زمانی که رفتار رانندگی به‌صورت توزیع نمایی یا ریشیانی باشد. بنابراین، راحتی تنظیمات زمان اجرا، همانطور که پیشنهاد شده است، بستگی به رفتار و ترجیحات کاربر دارد.

سیستم مدیریت چرخه شارژ خودروهای برقی (CCMS) - نتایج آزمایش‌های عملی

جدول II: نتایج آزمایش‌های عملی

شرح نتایج آزمایش‌های عملی:

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که اجرای CCMS در زمان فرآیند شارژ می‌تواند منجر به صرفه‌جویی‌هایی در هزینه‌ها شود. این صرفه‌جویی‌ها به مقادیر وضعیت شارژ اولیه (SoC) بستگی دارند و زمانی که کاربر با SoC پایین‌تری به خانه می‌رسد، تأثیرات بیشتری مشاهده می‌شود. همچنین، با اجرای CCMS، فرآیند

شارژ در بازه‌های قیمتی پایین‌تر انجام می‌شود، که این کار از اجتناب از بازه‌های قیمتی بالاتر در زمان‌های اوج تقاضای انرژی بهره می‌برد.

نتیجه‌گیری و کارهای آینده:

سیستم CCMS پیشنهادی به‌عنوان یک راه‌حل اینترنت اشیا (IoT) برای مدیریت بار هوشمند شارژ خودروهای برقی طراحی شده است. این سیستم به‌ویژه برای شارژرهای هوشمند با معماری شبکه‌ای ساده و تنها به یک دسترسی AP خانگی برای اتصال به اینترنت نیاز دارد. برخلاف راه‌حل‌های اینترنت اشیا DSM که معماری‌های پیچیده‌تری دارند، CCMS پیشنهادی نیازی به اشتراک‌گذاری داده‌های مصرف کاربران ندارد و بنابراین حریم خصوصی کاربر حفظ می‌شود.

نتایج آزمایش‌های تجربی نشان داد که این سیستم به‌طور خودکار می‌تواند چرخه شارژ خودروهای برقی را بر اساس سیگنال قیمت زمان واقعی (RTP) اداره کند. همچنین، این سیستم می‌تواند مصرف خودروهای برقی را کاهش دهد و از هزینه‌های شارژ در زمان‌های اوج تقاضا بکاهد.

کارهای آینده بر ارزیابی اثرات تخلیه باتری در اثر استفاده از این سیستم و بهبود الگوریتم‌های CCMS متمرکز خواهند بود. بررسی این تأثیرات و استفاده از سیگنال RTP در زمان‌بندی چرخه شارژ می‌تواند به‌طور مستقیم مزایای اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی این سیستم را افزایش دهد.