

Внутреннее освещение исторического здания с помощью светодиодных технологий на примере мечети Фейт Паша

С. Б. ЭФЕ¹, Д. ВАРХАН²

¹ Кафедра электротехники, университет Бандырма Онъеди Эйлюль, Турция

² Главное управление фондов, управление поселением Диярбакыра, Турция
E-mail: sefe@bandirma.edu.tr

Аннотация

В этой работе представлено исследование освещения места поклонения культа в соответствии со стандартами МКО. В существующей осветительной установке использовались галогенные лампы накаливания. В исследовании было проведено сравнение по уровню освещённости и материальным затратам двух смоделированных осветительных установок на основе традиционных источников света и на основе светодиодных технологий. Согласно нормативным требованиям МКО уровень освещённости должен составлять 100 лк или выше для мест поклонения культа. Осветительная установка на основе светодиодов при выполнении нормируемых показателей освещённости показала большую эффективность (на 85 %) по сравнению с установкой с галогенными лампами накаливания.

Ключевые слова: энергоэффективность, светодиоды, историческое место, искусственное освещение, освещённость.

1. Введение

Освещённость, которая физически определяется как световой поток, падающий на единицу площади, также выражается как уровень воспринимаемости окружающей среды или как результат практического использования света. Существует два вида освещения: естественное (солнечное) и искусственное. [1–2].

Характер освещения естественным светом меняется ежечасно, ежесезонно и будет меняться в зависимости от погодных условий. Поскольку обеспечить необходимый уровень освещённости естественным освещением в любое время в тех местах, где освещение необходимо все время, невозможно, то используется искусственное освещение [3–5]. Качественная

и правильно спроектированная осветительная установка повышает эффективность работы и экономические показатели, предотвращает несчастные случаи, искажение зрения, улучшает восприятие глазом пространства и повышает уровень комфорта жизни. Конструкция освещаемого пространства и причина потребности в освещении определяют критерии осветительной установки.

Характеристики освещаемой территории влияют на критерии выбора осветительного прибора, который позволит создать качественное освещение и при этом подчеркнуть эстетический образ архитектурного здания. Эти характеристики следует рассматривать с точки зрения понятий, связанных с комфортом, таких как блёскость, цвет и температура освещения [6–8].

Это исследование посвящено освещению исторической мечети, расположенной в Диярбакыре, Турция. Эта тема была выбрана потому, что было проведено слишком мало исследований как по освещению, так и по модернизации систем освещения исторических зданий [9]. В рамках работы исследуются принципы светотехнического проектирования исторических зданий и преимущества использования светодиодного освещения в таких местах с точки зрения энергосбережения. В предлагаемом исследовании современные и маломощные светодиодные светильники были адаптированы и использованы вместо неэффективных осветительных приборов в историческом здании. Таким образом, при достижении уровня освещённости в соответствии со требованиями МКО одновременно была достигнута экономия энергии. На этапах проектирования и монтажа осветительных приборов изначальный облик здания не был нарушен.

Проект освещения, реализованный в этом исследовании, был проанализирован в соответствии со стандартами

Международной комиссии по освещению (МКО). С этой целью применение освещения в проекте сравнивалось с некоммерческой программой моделирования [13].

2. Светодиодное освещение

Потребление энергии на освещение увеличивается день ото дня. Из-за неосознанного использования энергетических ресурсов, отсутствия достаточной технической инфраструктуры для достижения возобновляемых источников энергии и высоких объёмов энергии значимость экономии в освещении значительно возросла [10–12].

Ранее для того, чтобы обеспечить энергоэффективность в условиях защиты здоровья и комфорта пользователей, использовались люминесцентные лампы вместо ламп накаливания в новых проектах, но постепенно с появлением светодиодных источников света они стали терять свою привлекательность, и предпочтение стало отдаваться в сторону последних. Светоизлучающие диоды (светодиоды), новейшая технология, используемая в искусственном освещении, считаются самым важным изобретением в истории освещения после электрической лампы, которую Эдисон открыл столетия назад [14, 16].

Благодаря разработкам в области полупроводниковых технологий стали доступны осветительные приборы с высокой эффективностью и цветовым разнообразием. Светодиоды также являются продуктом этой разработки. Например, вместо лампы накаливания мощностью 60 Вт можно использовать светодиодную матрицу мощностью 9 Вт для снижения энергопотребления на 80–85 % [17–22]. Поскольку светодиоды могут использоваться как единственный источник света, так и объединяться в светодиодные осветительные системы, обеспечивающие повышение энергоэффективности освещения, они должны оцениваться иначе, чем традиционные источники света. Например, светодиодные лампы могут использоваться со всеми видами программного обеспечения и связи [23–26].

3. Освещение места поклонения культа

Экспозиция исторических мест в надлежащем и достойном виде

Рис. 1. Изображение мечети (а) и пронумерованные зоны освещения (б) [28, 29]



приобрела большое значение, и в последние несколько лет для этих целей было использовано много новых и различных методов. Правильное освещение – наилучший способ подчеркнуть эти качества. Основная цель освещения – обеспечить отличную видимость при низком энергопотреблении. Кроме того, жизненно важно не навредить историческим зданиям и их выдающимся особенностям. В данной статье обсуждается освещение исторического здания. В качестве объекта исследования была выбрана древняя мечеть. Во-первых, с учётом критериев уровня освещённости помещений, определённых стандартами, и с использованием оригинальных архитектурных планов были определены площади, подлежащие освещению в этом историческом здании. Затем выделенные участки были освещены, не нанося ущерба историческому месту с ориентацией на визуальные качества восприятия. Рекомендованная осветительная установка была реализована экспериментально, а для определения наиболее достоверных результатов проводился анализ также с точки зрения экологических и архитектурных аспектов. Было проведено сравнение годового энергопотребления существующей и рекомендованной осветительных установок по данным энерготарифов.

В целом, основными задачами светотехнического проектирования исторического здания должны быть:

- основные архитектурные элементы, орнаменты, ценные элементы зарегистрированного культурного наследия должны быть совместимы с оригинальной текстурой таким образом, чтобы подчеркнуть социальную и историческую значимость, а также ценность в данный момент времени

Рис. 2. Результаты измерения освещённости при естественном освещении внутри мечети

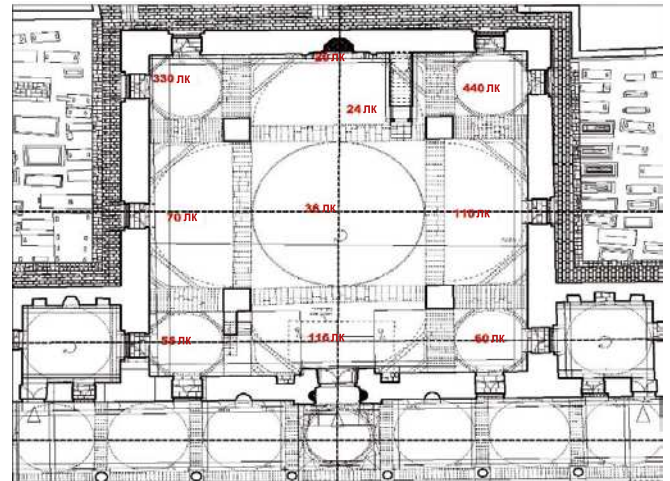
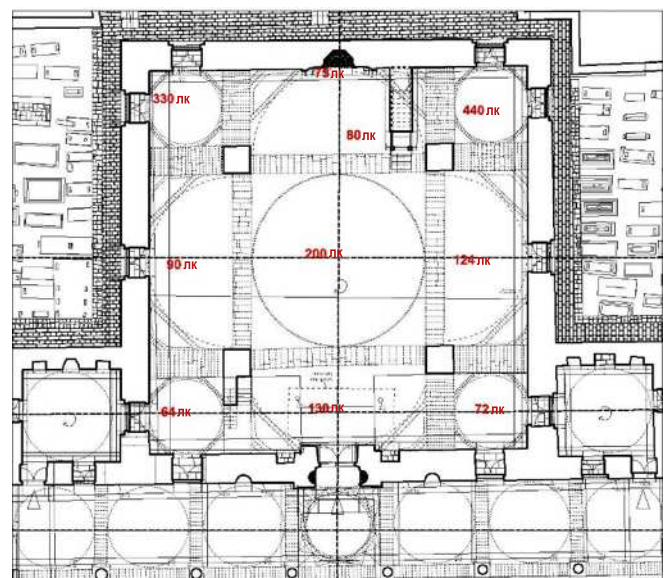


Рис. 3. Результаты измерения освещённости при естественном освещении и искусственном освещении от центральной люстры



и описание наряду с оригинальной композицией этого объекта,

- сделать возможным квалифицированное наблюдение и восприятие местности,
- обеспечить безопасность проведения работ, особенно в старых районах городов, повысить уровень комфорта пребывания, осмотра досто-

примечательностей и передвижения в ночное время,

- разработать подход, соответствующий принципам реставрации помимо эстетики,
- минимизация воздействия на окружающую среду и максимизация экономии энергии при достижении желаемого уровня освещённости [27].

Таблица 1

Значения измеренной освещённости по зонам освещения

Номер зоны освещения	Естественное освещение, лк	Естественное освещение и центральная люстра, лк	Искусственное освещение, лк
1	20	75	90
2	330	330	100
3	24	80	100
4	440	440	98
5	70	90	110
6	36	200	220
7	110	124	110
8	55	64	98
9	116	130	84
10	60	72	96

Освещение мечети Фатиха Паша, построенной в Диярбакыре в 1516 – 1520 гг., выбранной в качестве примера, было выполнено в соответствии с вышеописанными задачами. Место поклонения культа и пронумерованные зоны освещения показаны на рис. 1.

В этом исследовании есть как внутреннее, так и наружное освещение. В то время как наружное освещение предназначено только для визуального восприятия, это исследование было сосредоточено на освещении внутри помещения, которое должно соответствовать стандартам. Минимальный уровень освещённости помещений для богослужений определяется на уровне 100 лк в соответствии с стандартом МКО (*CIE Lighting of Indoor Work Places CIE S008 / E-2001*) [13].

В мечети Фейт Паша, в светлое время суток, уровень освещённости измеряется в отсутствие искусственного освещения, как показано на рис. 2. Видно, что уровень освещённости в некоторых зонах очень высок только при естественном освещении, а в некоторых – значительно ниже желаемого.

На рис. 3 представлены результаты измерения освещённости от центральной люстры с выключенными остальными источниками света. Отметим, что в течение дня для обеспечения требуемого уровня освещённости достаточно, чтобы была включена одна центральная люстра. На рис. 4 представлены результаты измерения освещённости в ночное время при искусственном освещении. Внутренний вид мечети после завершения монтажа приведён на рис. 5. В табл. 1 приведены значения освещённости, измеренные с помощью люксметра, в соответствии с зонами разбиения.

Лампы, которые активно работают днём или ночью, – это лампы в зоне 6. Согласно табл. 1 в ходе физических измерений в зоне 6 было получено значение 36 лк при высоте 5 м при естественном освещении. В течение дня, в центральной части (зона 6) при естественном освещении и включённой центральной люстре измеренное значение освещённости составило 200 лк. А в ночное время при искусственном освещении в этой зоне значение составило 220 лк. Соответственно, значение 36 лк не соответствует регламентируемым значениям МКО в условиях отсутствия дневного света [1, 3, 30, 31].

Рис. 4. Результаты измерения освещённости от искусственного освещения в ночное время

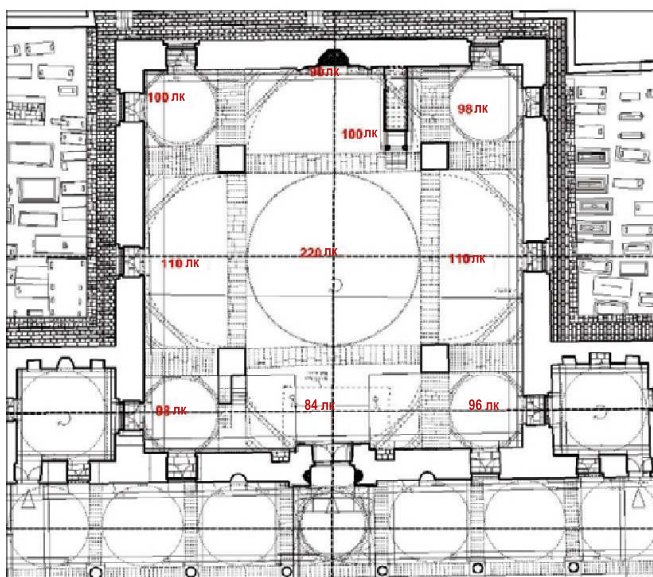
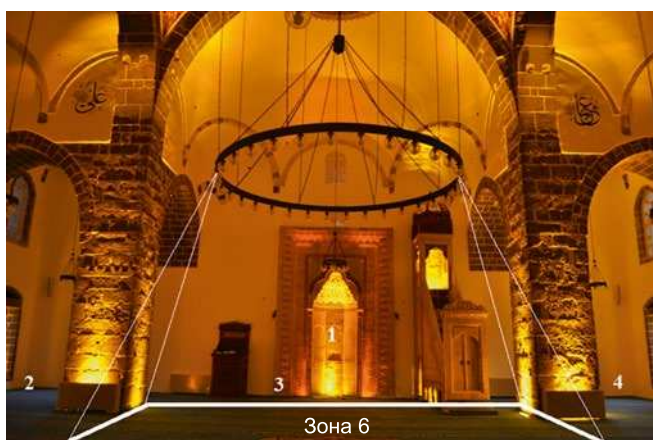


Рис. 5. Изображение мечети после установки встроенных светодиодных прожекторов



Расчётные значения освещённости в центральной зоне после замены галогенных ламп накаливания на светодиодные

$E_{\min}=18,56$ лк $E_{\max}=399,94$ лк $E_{\text{средняя}}=118,29$ лк										
м/м	0,700	2,100	3,500	4,900	6,300	7,700	9,100	10,500	11,900	13,300
0,583	15,64	14,01	9,53	13,36	13,97	13,98	13,37	9,55	14,04	15,68
1,750	28,58	26,98	16,73	21,69	21,71	21,72	21,71	16,762	27,01	28,63
2,917	49,13	45,99	32,44	30,56	27,27	27,27	30,57	32,47	46,02	49,18
4,083	87,07	68,99	62,92	41,08	37,43	37,44	41,09	62,95	69,03	87,12
5,250	164,72	140,28	98,89	60,55	57,53	57,54	60,57	98,92	140,32	164,78
6,417	235,46	283,84	183,06	98,47	82,22	82,22	98,49	183,09	283,88	235,52
7,583	359,26	406,25	262,06	144,49	111,32	111,33	144,51	262,09	406,29	359,32
8,750	284,76	291,16	195,53	122,71	101,25	101,25	122,73	195,56	291,20	284,83
9,917	158,65	129,60	94,322	65,659	62,80	62,81	65,67	94,35	129,64	158,71
11,083	77,78	58,14	47,34	36,26	37,84	37,85	36,27	47,37	58,19	77,84
12,250	43,69	36,81	30,76	24,97	24,826	24,83	24,99	30,79	36,85	43,74
13,417	29,25	24,81	21,80	18,71	17,335	17,34	18,72	21,82	24,84	29,30

Потому что в соответствующем стандарте МКО для мест поклонения культуре требуется освещённость не менее 100 лк [13]. При анализе энергопотребления существующей осветительной установки, видно, что в зоне б происходит высокое потребление мощности из-за использования 32 галогенных ламп накаливания по 60 Вт каждой. Была смоделирована осветительная установка, в которой 60 Вт лампы накаливания в центральной зоне (зона б) были заменены на светодиодные лампы 9 Вт нейтрального белого света при условии эквивалентного светового потока. Для существующей и смоделированной осветительных установок было проведено сравнение по энергопотреблению и полученному уровню освещённости.

Для расчёта и моделирования использовалось некоммерческое программное обеспечение. Область для анализа распределения освещённости делится на равные части. Расчётная поверхность в зоне б размером 12×12 м. Высота подвеса источников света составляет 5 м. Коэффициент обслуживания принимается равным 0,92. Значения освещённости, пред-

Таблица 3

Расчёт энергопотребления существующей осветительной установки

Оборудование	Мощность, Вт	Количество, шт.	Годовое энергопотребление, кВт·ч
Галогенная лампа накаливания (ГЛН)	60	64	6912
Прожектор с ГЛН	50	48	8352
Прожектор с ГЛН	100	51	17244
Итого			32508

Таблица 4

Расчёт энергопотребления рекомендованной осветительной установки

Оборудование	Мощность, Вт	Количество, шт.	Годовое энергопотребление, кВт·ч
Светодиодная лампа	9	64	725,76
Светодиодный прожектор	9	48	1503,36
Светодиодный прожектор	18	51	3103,92
Итого			5333,04

Расчёт стоимости существующей и рекомендованной осветительных установок

Оборудование	Мощность, Вт	Стоимость, TL/ед.	Количество, шт.	Общая стоимость, TL
Галогенная лампа накаливания (ГЛН)	60	9	64	576
Прожектор с ГЛН	50	25	48	1200
Прожектор с ГЛН	100	40	51	2040
Светодиодная лампа	9	10	64	640
Светодиодный прожектор	9	150	48	7200
Светодиодный прожектор	18	250	51	12750

Таблица 6

Сравнение ежегодных затрат на существующую и рекомендованную осветительные установки с учётом первоначальных инвестиций

Осветительная установка	Количество, шт.	Годовое энергопотребление, кВт·ч	Ежегодная стоимость э/э, TL	Первоначальные инвестиции, TL	Общая стоимость, TL
На основе ГЛН	163	32508	27228,7	3816	31044,7
Светодиодная	163	5333,04	4466,95	20590	25056,95
Экономия		27174,96			5987,75

ставленные в табл. 2, были получены с помощью расчёта в среде моделирования и являются значениями в центральной точке каждой зоны. Среднее значение освещённости на этой поверхности в соответствии с табл. 2 составляет 118,29 лк. Согласно регламентируемым значениям МКО уровень освещённости для мест поклонения культа должен быть 100 лк или выше. Очевидно, что использование светодиодной лампы мощностью 9 Вт является более энергоэффективным по сравнению с галогенной лампой накаливания мощностью 60 Вт.

4. Экономический анализ

Суточное потребление энергии для каждого осветительного прибора можно рассчитать, как указано в уравнении 1.

$$E = P_b \cdot n_a \cdot t_{op} \quad (1)$$

где E (Вт·ч) – потребляемая энергия, P_b (Вт) – мощность одной галогенной лампы накаливания, n_a – количество рожков люстры, а t_{op} (ч) – время работы светильника, которое равно суточному значению 2, 5 и 12 ч в зависимости от расположения светильника как внутри помещения, так и снаружи. Годовое энергопотребление существ-

вующей и рекомендованной осветительных установок рассчитывалось с помощью уравнения 1, и приведены в табл. 3 и табл. 4, соответственно. А также был проведён анализ стоимости реконструкции, затраты на которую приведены в табл. 5.

По данным регулирующего органа рынка электроэнергии Турции, по состоянию на 01.01.2020 цена за единицу электроэнергии была определена в размере 0,8376 TL¹/кВт·ч. Суммарное снижение энергопотребления составляет 27174,96 кВт·ч, таким образом экономия в денежном эквиваленте рассчитывается 27174,96 кВт·ч × 0,8376 = 22761,7 TL. За счёт снижения стоимости обслуживания осветительной установки (здесь учитывается только стоимость э/э) рекомендуемая светодиодная осветительная установка окупится примерно через 9 месяцев. Следует отметить, что сроки службы ламп не учитываются. Понятно, что срок окупаемости ещё больше сократится при рассмотрении сроков службы обоих типов ламп. Ежегодное сравнение затрат на существующую и рекомендованную осветительные установки с учётом первоначальных инвестиций приведено в табл. 6.

¹ Здесь и далее: TL – турецкая лира

5. Заключение

В данном исследовании рассматривается освещение исторического здания. В качестве примера была выбрана древняя мечеть, построенная в начале XVI века. Исследование включает в себя физическую установку осветительных приборов. В рамках исследования был осуществлён монтаж светодиодных систем освещения с сохранением первоначального состояния здания.

В данном исследовании наиболее важной ситуацией является экспертиза с точки зрения энергоэффективности и энергосбережения. Расчёты стоимости были сделаны для тех случаев, когда освещение производится с помощью традиционных и светодиодных источников света. В результате анализа проведённых расчётов было отмечено, что при реконструкции осветительной установки и замене на светодиодные источники света можно сэкономить большое количество энергии.

Было доказано, что освещение в центральной части мечети (зона б) должно быть в течение всего дня. Было проведено сравнение существующей на основе галогенных ламп накаливания 60 Вт и рекомендованной на основе светодиодов 9 Вт ОУ

для этой зоны с точки зрения энергопотребления. Мгновенная общая энергия, потребляемая галогенными лампами, составляет 1920 Вт, а мгновенная общая энергия, потребляемая 32 светодиодными лампами, – 288 Вт. Соответственно, очевидно, что при использовании осветительной установки на основе светодиодов, обеспечивающей регламентируемый уровень освещённости согласно стандартам МКО 100 лк и выше, достигается экономия 85 %. Средний уровень освещённости, создаваемый в центральной части мечети светодиодным освещением при моделировании, составляет 118,29 лк.

Благодарности

Автор хотел бы поблагодарить Главное управление фондов, управления поселением Диярбакыра, Турция, за их ценный вклад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Cengiz M.S.* Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance In Tunnel Lighting. // *Light & Engineering*, 2019. V27, #2, pp. 42–51.
2. *Iacomussi Rossi G., Soardo P.* Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting // *Light & Engineering*, 2012. V20, #4, pp. 55–63.
3. *Cengiz M.S.* The Relationship between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting. // *Light & Engineering*, 2019. V27, #3, pp. 75–88.
4. *Cole M, Driscoll T.* The Lighting Revolution: If We Were, Experts Before, We're Novices Now. // *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2014. V50, #2, pp. 1509–1520
5. *Coşkun T., Gülhan Ö., Şahin C.D., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G.* The effect of spatial interventions on historic buildings' indoor climate (Case Study: Tire Necip Paşa Library, Izmir-Turkey) // *Energy Procedia*, 2017. V133, pp. 358–366.
6. *Kamaruzzaman, S. N., Zulkifli, N.* A Review of the Lighting Performance in Buildings through Energy Efficiency, presented at the 2nd International Conference on Research in Science, // *Engineering and Technology (ICRSET'2014)*, March 21–22, 2014, Dubai (UAE).
7. *Almodovar-Melendo, J. M., Cabeza-Lainez, J. M., Rodriguez-Cunill, I.* Lighting features in historical buildings: Scientific analysis of the Church of Saint Louis of the Frenchmen in Sevilla // *Sustainability*, 2018. V10, #9, pp. 1–23.
8. *Cesario E., Grifoni R.C., Leuzzi A. Pacioti D.*, Light design in historical buildings: Parameters and prototypes. Comparison of façade behavior: Metal meshes vs. high-tenacity polymer composite meshes, // presented at International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2016, pp. 1–5.

9. *Zakaria S. A., Bahauddin A.* Light Art for Historical Buildings: A Case Study of the Heritage Buildings in George Town, Penang Island, *Procedia // Social and Behavioral Sciences*, 2015, V184, pp. 345–350.

10. *Salvadori G., Fantozzi F., Rocca, M., & Leccese F.* The energy audit activity focused on the lighting systems in historical buildings // *Energies*, 2016. V9, #12, pp. 1–13.

11. *Górczewska M.* Some aspects of architectural lighting of historical buildings. // *WIT Transactions on the Built Environment*, 2011. V121, pp. 107–116.

12. *Balocco C., Volante, G.* A method for sustainable lighting, preventive conservation, energy design and technology-Lighting a historical church converted into a university library // *Sustainability*, 2019 V11, #11, pp. 1–17.

13. *CIE Lighting of Indoor Work Places ISO 8995:2002(E) CIE S008/E-2001.* <http://cie.co.at>

14. *Xu X., Collin A., Djokic S.Z. Langel-la R., Testa A., Drapela J.*, Experimental evaluation and classification of LED lamps for typical residential applications, presented at 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe // *ISGT-Europe 2017*, pp. 1–6.

15. *Kim J., Sa G., Kim Y., Baek J.* LED-ID application for intelligent lighting, presented at International Conference on Ubiquitous and Future Networks // *ICUFN*, 2015-August, pp. 225–227.

16. *Matvoz D., Maksić M.* Comparison of LED and CFL lamps and their impact on electric power network, presented at Harmonics and Quality of Power (ICHQP) // 2012 IEEE 15th International Conference on, Hong Kong, 2012, pp. 320–327.

17. *Yurci Y., Cengiz Ç., Yapıcı İ., Cengiz MS., Yıldırım S., Eren M., Palta O., Atiç S.* Analysis of Energy Productivity in LED Illumination by Active or Passive Methods. International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science // *Education and Technology*, 2017, Baku

18. *Onaygil S., Güler Ö., Erkin E.* Cost Analyses of LED Luminaires In Road Lighting // *Light & Engineering*, 2019, V20, #2, pp. 39–45.

19. *Cengiz Ç., Kaynaklı M., Gencer G., Eren M., Yapıcı İ., Yıldırım S., Cengiz MS.* Selection Criteria and Economic Analysis of LEDs, Book of Abstracts // *Imeset Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech.*, October 27–29, 2017, Bitlis, Turkey.

20. *Yurci Y., Yıldırım S., Palta O., Cengiz Ç., Atiç S., Yapıcı İ., Cengiz MS., Eren M.* (2017). Numerical Analysis of LED Illumination Productivity Parameter. International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science // *Education and Technology (IMESET'17 Baku)*

21. *Yıldırım S., Yapıcı İ., Atiç S., Eren M., Palta O., Cengiz Ç., Cengiz M.S., Yurci Y.* Numerical Analysis of Productivity and Redemption Periods in LED Illumination. *Imeset Book of Abstracts // Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech.*, 12–14 July 2017, Baku

22. *Cengiz, M.S., Cengiz, Ç.* Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor. // *IJUM Engineering Journal*, 2018. V19, #2, pp. 154–163.

23. *Çıbuk M., Arı D., Ağgün F.* Relay Mechanism with Three way Handshake for Wireless Sensor Networks // the 8th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 2017.

24. *Çıbuk, M., Cengiz, M.S.* Determination of Energy Consumption According To Wireless Network Topologies In Grid-Free Lighting Systems. // *Light & Engineering*, 2020. V28, #2, pp. 67–76.

25. *Cengiz MS. Cengiz Ç.* (2017). IOT and Lighting Automation. International Conference on, Imeset Book of Abstracts // *Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech.*, 12–14 July 2017, Baku

26. *Arı D., Çıbuk M., Ağgün F.* Effect of Relay Priority Mechanism on Multi hop Wireless Sensor Networks, // *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 2017. V7, #2, pp. 145–153.

27. *Dos Santos Oliveira G., De Oliveira E.P., Da Silva A.P. De Moura Carvalho C.C. M.*, Power quality of LED lamps. Presented at International Conference on Harmonics and Quality of Power, // *ICHQP*, 2016-December, pp. 575–580.

28. *Varhan D.* LED Lighting in Historical Spaces and Applications // *Master Thesis*, Bitlis Eren University, Turkey, October 2019.

29. *Tuncer O.C.* Diyarbakır Mosques, Diyarbakır Metropolitan Municipality // *Culture and Art Publications*, Diyarbakır, 1996.

30. *Onaygil S.* TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri-Gölbaşı Eğitim Tesisleri, // *Yol aydınlatma Semineri 23–24 Ocak 2007.*

31. *Onaygil S.* TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri, TEDAŞ Basımevi, Ankara.



Серхат Берат Эфе (Serhat Berat Efe),
Ph. D. (2014) Доцент кафедры электротехники Университете Бандырма
Онъеди Эйлюль. Основные направления его исследований – анализ энергосистем, качество электроэнергии и возобновляемые источники энергии



Дерман Вархан (Derman Varhan),
M.Sc. (2019) Инженер по электротехнике и электронике в Главном управлении фондов управления поселения Диярбакыра, Турция