

赞比亚混凝土生产中使用的轮胎资源

Theresa Bwalya^{1,*}, Michael Mulenga², Chizyuka Chizyuka³

1 赞比亚 卢萨卡水开发和卫生部

2 赞比亚 卢萨卡 赞比亚大学工程学院土木与环境工程系

3 赞比亚 卢萨卡 赞比亚大学工程学院机械工程系

摘要：建筑业需要找到成本效益高的材料来提高混凝土的性能。水泥和骨料是混凝土生产的主要成分。这不可避免地导致了对天然材料的不断开发，以生产混凝土生产所需的成分。其结果是原始原料的消耗和环境退化的影响增加。在这项研究中，对在混凝土生产中使用再生橡胶轮胎作为粗骨料的部分替代品进行了研究。再生废轮胎橡胶由于其重量轻、弹性好、能量吸收好、隔音隔热性能好，在建筑行业是一种很有前途的材料。文献表明，随着轮胎含量的增加，橡胶化混凝土的强度显著降低。此外，据报道，可加工性和粘结性能也有所降低。因此，在天然骨料的更换过程中，有必要控制混凝土的强度损失和其他参数。本研究旨在研究旧轮胎橡胶增强混凝土的压缩、拉伸和粘结性能。实验室实验的测试结果能够确定机械、物理和耐久性特性，以及确定用废橡胶代替普通骨料作为混凝土骨料的程度。通过用经处理的碎废轮胎橡胶替代选定百分比的骨料，生产了三种混凝土，C15、C20 和 C25。粗骨料的替代率分别为 5%、15% 和 25%。碎橡胶骨料的尺寸从 20mm 到 19mm 不等。对正常和处理过的橡胶改性混凝土的新拌混凝土混合物进行了坍落度、渗透性和容重测试。同样，对硬化混凝土进行了抗压强度、抗拉劈裂强度、粘结试验和耐酸侵蚀耐久性试验。研究表明，橡胶改性混凝土优于标准混凝土，粗骨料的替代率高达 15%。在 15% 的替换率下，仅确定了 0.1% 的强度损失。随着 25% 的更换，物业明显减少。然而，橡胶改性混凝土在高温下逐渐开裂，表现更好。赞比亚有可能生产橡胶改性混凝土产品，从而减轻过度开采天然骨料和废弃橡胶轮胎造成的不利影响。

关键词：废轮胎；聚合；混凝土；面包屑橡胶；替代比例；橡胶混凝土

Used Tyre as a Resource in Concrete Production in Zambia

Theresa Bwalya^{1,*}, Michael Mulenga², Chizyuka Chizyuka³

1Ministry of Water Development and Sanitation, Lusaka, Zambia

2Department of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering, University of Zambia, Lusaka, Zambia

3Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, University of Zambia, Lusaka, Zambia

Abstract: The construction industry needs to find cost-effective materials to enhance the properties of concrete. Cement and aggregate are the major constituents in concrete production. This has inevitably led to a continuous and increasing exploitation of natural materials to produce the constituents for concrete production. The result has been the depletion of virgin raw materials and increased effects of environmental degradation. In this research, a study was carried out on the use of recycled rubber tyres as a partial replacement for coarse aggregates in concrete production. Recycled waste tyre rubber is a promising material in the construction industry due to its reduced weight, elasticity, energy absorption, sound and heat insulating properties. Literature suggests that there is a significant loss in the strength of rubberized concrete with increasing tyre content. Further, workability and bond properties have been reported to reduce as well. Therefore, it is necessary to control this loss of strength and other parameters in concrete in the replacement process of natural aggregates. This research aimed at studying the compressive, tensile and bond properties of used tyre rubber reinforced concrete. Test results from laboratory experiments enabled determination of mechanical, physical and durability properties, as well as establishment of the extent of substitution of normal aggregates with waste rubber as aggregate in concrete. Three classes of concrete, C15, C20 and C25 were produced by substitution of selected percentages of aggregates by treated chopped waste tire rubber. The percentage replacement of coarse aggregates was 5, 15 and 25 per cent. The size of the chopped rubber aggregates varied from 20 mm to 19 mm. Slump,

permeability and bulk density tests were conducted on fresh concrete mixes for both the normal and treated rubber modified concrete. Similarly, compressive strength, tensile splitting strength, bond test and durability against acid attack tests were conducted on hardened concrete. The research established that rubber modified concrete compares favourably with standard concrete, with up to 15 per cent replacement of coarse aggregate. At 15 per cent replacement, only 0.1 per cent loss of strength was established. There was noticeable reduction in properties with 25 per cent replacement. However, Rubber modified concrete performed better by gradual cracking at elevated temperatures. There is potential for rubber modified concrete products in Zambia which in turn mitigates adverse impacts resulting from over exploitation of natural aggregates and disposal of used rubber tires.

Keywords: Waste tyre; Aggregate; Concrete; Crumb rubber; Percentage replacement; Rubberized concrete

1. 引言

混凝土是当今世界使用最广泛的建筑材料。据世界可持续发展商业理事会 (WBCSD) 2017 年估计, 全球每年约生产 250 亿吨混凝土^[1]。这意味着每年有超过 17 亿辆卡车装载, 或每天约 640 万辆卡车装载量, 或全球每年人均超过 3.8 吨。很难指出另一种像混凝土一样用途广泛的建筑材料。它是一种需要强度、耐久性、持久性、不渗透性、耐火性和耐磨性的材料。生产混凝土所需的基本材料包括水泥、细骨料 (砂)、粗骨料 (碎石或巨石) 和水。制造混凝土所需的沙子和粗骨料来自地壳, 主要来自采石场或从河床疏浚而来。

大规模开采天然骨料会对社会产生环境影响。目前, 人类在使用自然资源方面可能以不可持续的方式生活, 这可能会对气候变化产生直接影响。这种大规模的骨料开采最终将对地球的自然资源造成无法弥补的损害。因此, 我们需要寻找新的建筑材料。

尽管自然资源的供应量是可以衡量的, 但建筑活动的需求和原材料的需求在过去几年中大幅增加。对自然资源的日益增长的需求可能会造成一些后果, 例如技术进步使社会获得了更多的产品, 提高了发展中国家的富裕水平, 以及全球总人口的总体增长。赞比亚卢萨卡和全世界对环境的认识日益提高, 极大地加剧了与处理产生的废物有关的关切。如 Al Bakari 等人所述, 大量废物的再利用被认为是解决废物处理问题的最佳环境替代方案^[3]。

1.1. 废旧轮胎的回收方法

Yang 等人^[4], 有多种技术和技术可用于加工消费后轮胎。

其中包括:

a) 去硫化: 这是通过加热和化学处理使硫化过程逆转的过程。

b) 粉碎: 这是使用机械或低温工艺将轮胎加工成粉末状颗粒。

c) 切碎和削片: 这包括将轮胎粉碎成更大的尺寸, 最后粉碎成 20-30 毫米的颗粒。

1.2. 问题陈述

赞比亚最近在建筑业有所扩张, 迫切需要多样化使用替代材料。此外, 该国还开展了一场应对固体废物处置的阻击战。基于此, 我们需要发现再生轮胎对混凝土

结构性能的影响, 并确定在赞比亚使用橡胶增强混凝土在技术和经济上是否可行。

1.3 研究意义

这项研究工作的意义可以从经济和环境两方面考虑。在经济方面, 本研究旨在通过减少特定混合料中所需的天然骨料数量来降低混凝土生产成本。

在环境方面, 这项研究旨在减少废轮胎橡胶的数量, 以保护环境。

1.4 研究目标

本研究的主要目的是研究橡胶混凝土的抗压强度和劈裂抗拉强度与普通混凝土的其他特性 (如韧性和延性) 以及其在高温下使用不同混合料的行为。

具体目标是:

1. 通过实验室测试, 确定橡胶混凝土的材料特性, 并推荐橡胶混凝土可用于赞比亚建筑行业的地方。

2. 进行实验室测试, 旨在提供可用于起草赞比亚结构和非结构或低荷载用途的实用橡胶混凝土混合料规范的信息。

3. 观察并比较正常和橡胶化混凝土在高温和恶劣环境下的裂缝模式、残余应变和行为。

2. 文献综述

2.1 橡胶混凝土力学性能综述

Goulias 和 Ali 研究了橡胶条对混凝土性能的影响^[5]。他们研究了橡胶条对混凝土抗压强度和抗拉强度的影响。

结果表明, 使用废轮胎橡胶条的混凝土试件比使用细橡胶集料和碎橡胶集料的试件具有更高的抗压强度和刚度。

Kaloush 等人测试了混凝土的各种性能, 并将其与橡胶骨料混凝土进行了比较^[6]。他们观察到, 随着橡胶含量的增加, 拉伸强度降低, 但断裂应变增加。断裂时较高的拉伸应变表明混合料韧性更强。已确定, 橡胶混凝土更耐热变化。

Kumaran 等人在他们的研究中得出结论, 通过添加一些高效减水剂和工业废料, 可以降低抗压强度和抗拉强度的降低, 因为部分替代水泥肯定会提高废轮胎橡胶改性混凝土的强度^[7]。他们得出结论, 需要进一步研究以提高防火性能。

Zheng 等人研究了橡胶混凝土, 并用不同体积比的

磨碎和压碎的废轮胎代替了普通混凝土中的粗骨料^[8]。使用研磨的橡胶粉末和粉碎的轮胎碎屑颗粒,其尺寸范围为约 15mm 至 4mm。测试和研究了橡胶类型和橡胶含量对强度、弹性模量的影响。通过加载、卸载和重新加载试样,获得了应力-应变磁滞回线。脆性指数值通过磁滞回线计算。研究表明,粉碎橡胶混凝土的抗压强度和弹性模量低于地面橡胶混凝土。

Eldin 和 Seouci 在他们的论文中观察到,磨损的汽车轮胎堆积会造成火灾和健康危害^[9]。作为废轮胎处理问题的可能解决方案,他进行了一项实验研究,以检验在波特兰水泥混凝土中使用轮胎碎片和橡胶屑作为骨料的可能性。他们研究了混凝土的强度和韧性特性,其中不同数量的橡胶轮胎颗粒(不同尺寸的 10% 至 50%)用作骨料。他们观察到,混凝土混合物的抗压强度和劈裂抗拉强度低于普通混凝土。

Selvakumar 和 Venkatakrishnaiah 在他们的研究论文中得出结论,5% 置换率的碎裂橡胶混凝土的抗压强度比 28 天时的普通混凝土强度 36.73 MPa 高 38.66 MPa^[10]。橡胶混凝土的抗压强度为 33.47 MPa,替代率为 10%。在劈裂抗拉强度方面,橡胶混凝土的强度低于普通混凝土的强度。在对橡胶混凝土进行的弯曲强度试验中,与普通混凝土的强度相比,强度有所下降。从试验结果中发现,橡胶具有较小的粘结能力,这影响了混凝土的强度。

2.2. 橡胶混凝土物理性能综述

安蒂观察到,需要轻质混合料的地方可以使用碎橡胶混凝土^[11]。使用橡胶时,坍落度仅降低 1.08%,最高可达 10%。此外,他指出,橡胶含量的增加增加了其韧性。

Nehdi 和 Khan 概述了含有再生轮胎橡胶的水泥基复合材料的工程性能和潜在应用^[12]。他们报告了在混凝土中使用橡胶对密度(单位重量)和空气含量的影响。混凝土中使用了不同尺寸的橡胶屑。由于橡胶的比重较低,随着橡胶百分比的增加,橡胶混凝土混合物的单位重量降低。

Ganjian 等人研究了含有 5.0%、7.5% 和 10.0% 废弃轮胎橡胶作为骨料和水泥替代物的混凝土混合物的性能^[13]。用不同重量百分比的碎橡胶代替粗骨料。结果表明,如果更换率达到 5%,混凝土特性不会发生重大变化,但随着更换率的进一步增加,观察到了相当大的变化。

Aiello 和 Leuzzi 研究了新鲜和硬化状态下的各种混凝土混合物的性能,这些混合物是通过用不同体积百分比的废轮胎橡胶颗粒部分替代粗骨料和细骨料获得的,具有相同尺寸的替代骨料^[14]。结果表明,与普通混凝土相比,单位重量较低,且具有良好的和易性。压缩和弯曲试验的结果表明,当替代粗骨料而不是细骨料时,橡胶混凝土的力学性能会大大降低。

凯恩斯等人试图提前将轮胎骨料包裹在水泥中,以改变其与水泥基质之间的过渡^[15]。作者得出结论,通过

添加 10% 的橡胶骨料,抗压强度显著提高。无论水灰比或所用粗轮胎骨料的尺寸,这一趋势都保持不变。

研究人员 Guneyisi 等人还介绍了橡胶混凝土的力学性能^[16]。试验结果表明,随着橡胶含量从 0% 增加到 50%,抗压强度和弹性模量降低。

Albano 等人报告了废橡胶添加到波特兰混凝土复合材料中的影响结果^[17]。破坏性和非破坏性测试结果表明,当废橡胶的重量比增加和颗粒尺寸减小时,新状态下混凝土复合材料的流动和密度以及干燥状态下的抗压强度和劈裂抗拉强度都会降低。

2.3. 总结

如前所述,大多数文献综述表明,添加轮胎橡胶颗粒作为骨料后,混凝土的机械性能显著降低。仅使用粗橡胶颗粒比仅使用细颗粒对混凝土性能的影响更大。

此外,橡胶的加入增加了普通混凝土的塑性能容量。由于其高塑性能量能力,混凝土表现出高应变,特别是在冲击作用下。

2.4. 橡胶混凝土的未来趋势

几项研究证实,废轮胎橡胶在混凝土中的使用在经济、环境和混凝土机械性能方面是可持续的。然而,迄今为止,关于橡胶混凝土在钢筋结构构件中的应用的研究非常有限。

从本研究中观察到,橡胶混凝土在全尺寸钢筋混凝土梁和柱中的应用可以在使用和极端荷载条件下成功实施。与常规混凝土柱相比,橡胶混凝土柱可以承受两倍以上侧向变形,而不会发生屈曲破坏。同时,使用先进材料约束橡胶混凝土结构柱的研究也具有很好的潜力。

3. 方法

3.1. 碎橡胶

试验中使用的轮胎橡胶应用于以下两种尺寸的级配,并从赞比亚卢萨卡最近的轮胎橡胶中心获得。用短切橡胶代替混凝土中的粗骨料。用切割机和钢锯将橡胶轮胎骨料切割成 10-20mm 的尺寸,如图所示

1. 本研究中用于替代粗骨料的橡胶骨料是通过手动将轮胎切割成所需尺寸制成的(图 1)。在最初阶段,这证明是费力且难以处理的。然而,如果设计出大规模生产,并使用合适的切割工具和机械进行特定用途,所有这些挑战都可以轻松避免。



图 1. 从旧轮胎中获得的粗橡胶骨料。

3.2. 试样数量

本研究中制备了六种混合物，并制备了 36 个立方体 (150mm x 150mm x 150mm) 样品进行压缩试验。此外，还准备了 18 个用于拉伸劈裂试验的圆柱体样品 (直径 150mm x 高度 300mm)。按体积计算，粗骨料与轮胎废料的更换比例为六个立方体和三个圆柱体。替代率分别为 5%、15% 和 25%。对每种新鲜混合料进行压实系数试验，分别在第 7 天和第 28 天进行抗压强度试验，并对各试样进行拉伸劈裂强度试验。

3.3. 混凝土立方体的工作性和浇筑

图 2 显示了坍落度试验，而图 3 显示了在模具中浇筑控制混凝土和橡胶混凝土试样。

使用的标准包括：；BS EN 12620:2013《砂和骨料级配》；BS 812 冲击值；BS EN 12390-3:2019《混凝土抗压强度和体积密度测定用混凝土试验》。



图 2. 普通混凝土和橡胶混凝土的坍落度。



图 3. 控制混凝土和橡胶混凝土试件的浇筑。

4. 结果和讨论

4.1. 工作性

设计混合料的目标坍落度为 80mm 至 100mm。废轮胎橡胶代替粗骨料会影响混凝土的和易性。图 4 显示了 C20 的和易性随轮胎橡胶含量的增加而降低，然而，普通混凝土和橡胶混凝土的和易度均在设计范围内。

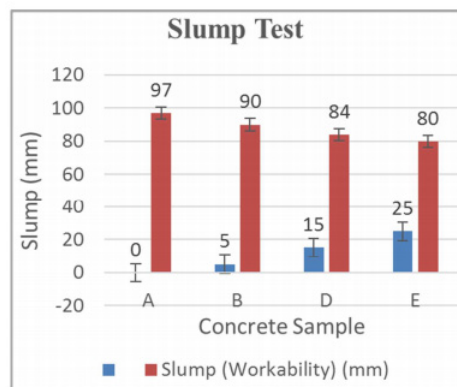


图 4. 坍落度试验结果。

4.2 抗压强度

在 7 天龄和 28 天龄时，随着橡胶替代率的增加，抗压强度降低几乎呈线性下降。如图 5 所示，与对照组相比，每种替换百分比的减少率几乎保持在 20-25%。

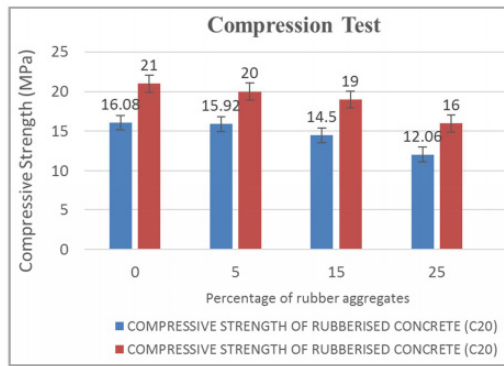


图 5. 混凝土在第 7 天和第 28 天的压缩试验结果。

4.3. 拉伸劈裂强度试验

混凝土圆柱体养护 28 天后，对每种混合物的每个混凝土圆柱体进行拉伸劈裂强度试验，结果如图 6 所示。

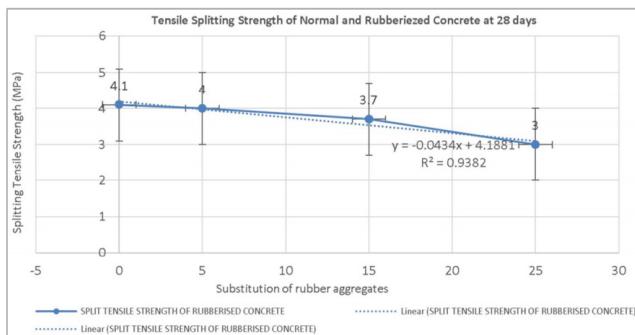


图 6.28 天时混凝土的抗拉劈裂强度结果。

4.4. 湿混凝土密度

图 7 显示了各种混合物的密度变化。结果表明，随着橡胶取代度的增加，线密度降低。

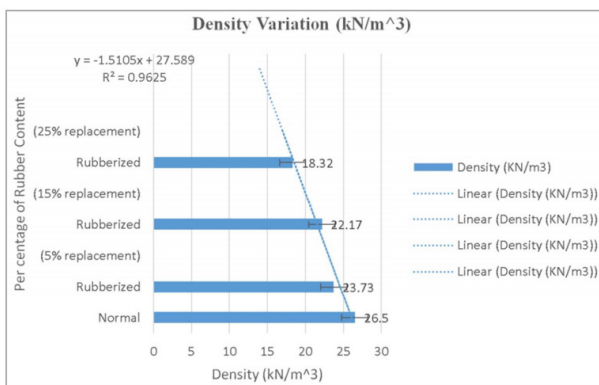


图 7. 湿混凝土密度随橡胶含量百分比的变化。

4.5. 残余强度试验

橡胶在火下可燃，分解温度低。因此，在直接火灾条件下，橡胶混凝土与普通混凝土相比是不安全的。然而，橡胶混凝土在火灾下表现出较低的剥落损伤。将含 5%、15% 和 25% 碎橡胶的橡胶化混凝土试样暴露在 100℃ 下 48 小时后。图 8、图 9 和图 10 显示了破坏模式，而残余抗压强度降低如表 1 所示。当试件承受压缩荷载时，观察到普通混凝土没有开裂，但破坏迅速且易碎。另一方面，橡胶混凝土在加热后出现了一些裂缝，但破

坏是渐进的和均匀的。

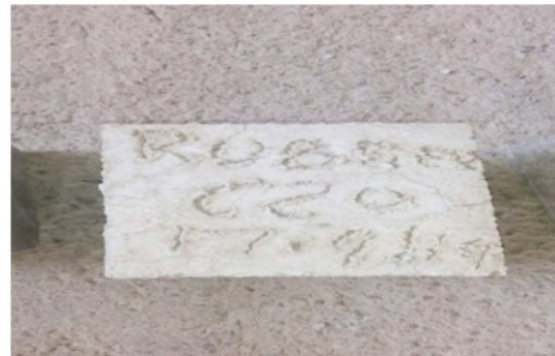


图 8. 橡胶钢筋混凝土和普通混凝土在 100℃ 下加热 48 小时后出现一些裂缝。



图 9. 加热橡胶钢筋混凝土的压缩试验。



图 10. 受压后加热橡胶钢筋混凝土和普通混凝土的破坏模式。

Rubber content (%)	Residual compressive Strength (MPa)
	100°C for 48 hours
0	19.8
5	18.1
15	16.87
25	14.21

表 1. 不同橡胶含量的 C20 级残余抗压强度。

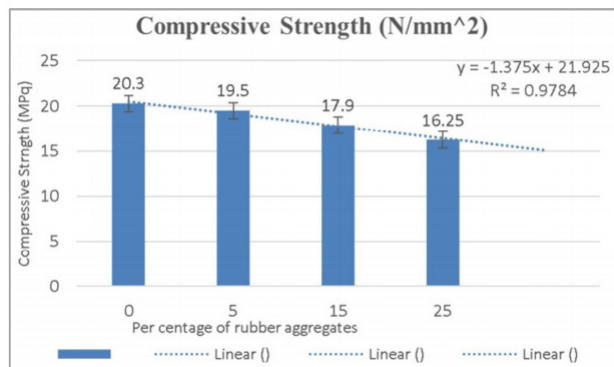


图 11. 不同橡胶含量的硫酸钠溶液处理后混凝土抗压强度的变化。

4.6. 抗侵蚀性环境（硫酸盐侵蚀）

对照混凝土在 10 升水和 100 毫升硫酸钠中浸泡 7 天后的抗压强度值，以及更换 5%、15% 和 25% 橡胶混凝土后的抗压强度，如图 11 所示。

硫酸盐对混凝土的侵蚀会导致混凝土膨胀、开裂、强度损失和崩解。虽然橡胶混凝土的孔隙率高于普通混凝土，但橡胶混凝土的化学吸收通常高于普通混凝土。之前的一些实验已经返回了积极的结果，并证实了橡胶混凝土对硫酸钠和水渗透的高抵抗力。

根据文献综述，在硫酸盐暴露条件下，与普通混凝土相比，橡胶混凝土的长期强度损失较低，并且随着橡胶量的增加，强度损失会降低。

5. 结论和建议

本章介绍了研究结果的结论。从文献中可以确定，随着世界经济和工业的发展，轮胎产量也在不断增加。废弃轮胎的处理和燃烧已被证明对环境安全有害，因此，回收橡胶是最理想的选择。回收废轮胎橡胶在混凝土施工中的应用是一个有效和可持续的过程。废轮胎橡胶可以在混凝土中用作细骨料、粗骨料、粘合剂和纤维的替代品。然而，在本研究中，使用了粗骨料的替代物来确定在混凝土生产中使用橡胶骨料的适用性。

5.1. 结论

根据测试结果和对该实验工作的分析，得出以下结论：

- 1) 粗骨料的替代率高达 15%，橡胶改性混凝土的性能与普通混凝土相当，通过处理轮胎橡胶的表面，混凝土的抗压强度得到提高。
- 2) 轮胎橡胶更换量的增加对坍落度没有显著影响，因此和易性仍然可以接受。
- 3) 橡胶化混凝土试样的单位重量随着橡胶替代百分比的增加而略有减少，这有利于处理成本。
- 4) 在高温下，橡胶化混凝土和普通混凝土中都观察到强度损失，但橡胶化混凝土中的开裂是逐渐的。
- 5) 橡胶混凝土在火灾和腐蚀环境下表现良好。

5.2. 建议

- 1) 赞比亚的研究和学术机构应就混凝土施工中橡胶骨料的使用进行额外研究。
- 2) 设计人员应首先对所需性能进行实验室测试，从而使用橡胶混凝土。
- 3) 橡胶混凝土的长期性能应由研究和学术机构进行研究。
- 4) 本研究使用了尺寸为 19-20mm 的单级配橡胶集料。应研究轮胎橡胶的不同级配和更换率的影响。
- 5) 考虑到橡胶混凝土制造过程中轮胎橡胶的类型、年龄、质量和侵蚀性环境，必须进行额外的研究。
- 6) 学术界、研究机构和混凝土制造公司应研究废轮胎橡胶的替代预处理方法。

致谢

高等教育部（MoHE）对研究工作的财政支持表示感谢。衷心感谢赞比亚大学工程学院在研究工作中给予的支持。

我们还要感谢道路发展局、道路运输和安全局以及公共基础设施部在研究工作期间提供的测试设施和宝贵信息。

参考文献

- [1] Aiello, M. A. and F. Leuzzi. (2010). Waste tyre

rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state. *Journal of Waste Management*, 30, pp. 1699-1704.

[2] Albano, G., N. I. Fattuhi and L. A. Clarck (2005). Rubberized concrete: a green structural material with enhanced energy – dissipation capability, *Construction Building Materials*, 10 (4), pp. 229-236.

[3] Al-Bakari, S., D. Kyser and N. Ravichandran. (2016). Properties of chipped rubber roofing membrane and sand mixtures for civil engineering applications, *Journal of Building Engineering*, *Journal of Building Engineering* 7, pp. 103-113.

[4] Antil, Y. (2014). An Experimental Study on Rubberized Concrete, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 4, Issue 2, pp. 309-316.

[5] Cairns, R., H. Kew and M. Kenny. (2013). The use of recycled rubber tyres in concrete construction, Final 575 Report, University of Strathclyde, Glasgow, 91 p. 576.

[6] Eldin, N. N. and A. B. Senouci. (1993a). Rubber-tyre particles as concrete aggregate, *Journal of Material in Civil Engineering*, ASCE, 5 (4), pp. 478-496.

[7] Ganjian, E., M. Khorami and A. A. Maghsoudi. (2009). Scrapytyre-replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials Journal*, ELSEVIER, 23, pp. 1828-1836.

[8] Goulias, D. G. and A. H. Ali. (1998). Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber, *Construction Building Materials*, 10 (4), pp. 229 - 236.

[9] Guneyisi, E., M. Gesoglu and T. Ozturan, 2014. Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Journal of Cement and Concrete Research*, ELSEVIER, 34, pp 2309-2317.

[10] Kaloush, K. M., M. Getahun and A. Belachew.

(2014). Study on Waste Tyre Rubber as Concrete Aggregate, *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, Volume No. 3 Issue No. 4, pp: 433-436.

[11] Kumaran, K., G. G. Dimitrios and C. Al-Hosain. (2008). NonDestructive Evaluation of Rubber Modified Concrete, *Infrastructure Condition Assessment*, Rubber Modified Concrete Evaluation, Polytechnic University, Six Metro-, Brooklyn, NY, 11201, pp. 111-120.

[12] Nehdi, R. and K. Khan, 2015. Achieving Sustainability of concrete by recycling of solid waste materials, *Mechanical Testing and Diagnosis*, ISSN 2247-9635, (II), Volume 1, pp 22-39.

[13] Saviour, N. M. (2012). Environmental impacts of Soil and Sand Mining: A

Review. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 1, 3, pp. 125-134.

[14] Selvakumar. S. and R. Venkatakrishnaiah. (2015). Effects of Concrete by using waste tyre rubber (Solid Waste), *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 5 pp. 13221-13230.

[15] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) <https://www.google.com/search?q=world+business+council+for+sustainable+development>

[16] Yang, L., H. Zhu and Y. Li. (2015). Theoretical Analysis of the Effect of Crumb Rubber on the Sectional Ductility of Reinforced Concrete Beam, *China. J. Basic Sci. Eng.*, Volume 18 (4), pp. 609.

[17] Zheng, L., X. S. Huo and Y. Yuan. (2008). Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete, *Construction and Building Materials* 22 (5), pp. 939 - 947.